# R Respostas

# RESPOSTAS

## 1. Energia e sua conservação

### 1.1 Energia e movimentos

#### 1.1.1 e 1.1.2 Tipos fundamentais de energia. Sistema mecânico redutível a uma partícula PÁG. 5

1. Sistema: substância contida na cápsula.
Fronteira: cápsula.
Vizinhança: toda a envolvente da cápsula.

2. **a)** 1,5 MJ = 1 500 000 J = $1{,}5 \times 10^6$ J.
**b)** 2,30 kJ = 2300 J = $2{,}30 \times 10^3$ J.
**c)** 34 mJ = 0,034 J = $3{,}4 \times 10^{-2}$ J.
**d)** 5,0 kcal = $2{,}1 \times 10^4$ J.

3.
3.1 $E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}109 \times 10^{-31} \times (10^6)^2 = 4{,}6 \times 10^{-19}$ J.

3.2 $E_c = \frac{1}{2} \times 3 \times 10^{16} \times (3{,}0 \times 10^3)^2 = 1{,}4 \times 10^{23}$ J.

4. De $E_c = \frac{1}{2} m v^2$, conclui-se que:
$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 6{,}73 \times 10^{-19}}{9{,}109 \times 10^{-31}}} = 1{,}22 \times 10^6$ m s$^{-1}$ = $4{,}39 \times 10^6$ km h$^{-1}$.

5. **a)** $E_{c,M} = \frac{1}{2}(2m_N) v^2 = 2\frac{1}{2} m_N v^2$ e $E_{c,N} = \frac{1}{2} m_N v^2$; logo
$E_{c,M} = 2E_{c,N}$.
**b)** $E_{c,M} = \frac{1}{2} m (2v_N)^2 = 4\frac{1}{2} m v_N^2$ e $E_{c,N} = \frac{1}{2} m v_N^2$; logo
$E_{c,M} = 4E_{c,N}$.
**c)** $E_{c,M} = \frac{1}{2}\left(\frac{m_N}{2}\right)(2v_N)^2 = \frac{4}{2} \times \frac{1}{2} m_N v_N^2$ e $E_{c,N} = \frac{1}{2} m_N v_N^2$; logo
$E_{c,M} = 2E_{c,N}$.

6. $E_{c,A} = \frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_B v_B^2 = E_{c,B}$ ou, ainda:
$\frac{1}{2}\frac{m_B}{3} v_A^2 = \frac{1}{2} m_B v_B^2 \Rightarrow v_A^2 = 3v_B^2$. Logo, $v_A = \sqrt{3}\, v_B$.

7. **a)** Energia potencial gravítica do sistema *Terra* + *Sol*.
**b)** Energia potencial elétrica do sistema *protão* + *eletrão*.
**c)** Energia potencial elástica do sistema *mola* + *bola*.

8. (B). Em geral, quanto maior for a agitação corpuscular, maior será a energia interna.

9. (A).

10. (D).

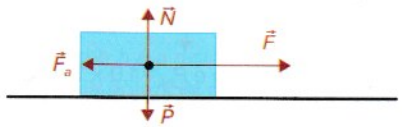
11. (C).

#### 1.1.3 e 1.1.4 Trabalho de uma força constante. Trabalho do peso PÁG. 6

12. **A.** Não, porque não desloca o seu ponto de aplicação.
**B.** Não, porque a força que a Terra exerce sobre a Lua e o deslocamento do ponto onde está aplicada a força, que é a Lua, são perpendiculares.

13. Não, porque a força que exercemos sobre a parede não desloca o seu ponto de aplicação. Logo, não realiza trabalho e é este que mede a transferência de energia.

14.
14.1 $\vec{N}$ – força normal, exercida pelo chão; $\vec{P}$ – peso do bloco, exercido pela Terra; $\vec{F}_a$ – força de atrito, exercida pelo chão. A figura representa estas forças e também a força $\vec{F}$.




14.2 $W = Fd \cos \alpha$; a reação normal e o peso não realizam trabalho, pois $\cos \alpha = \cos 90^\circ = 0$, uma vez que a força e o deslocamento são perpendiculares.
Força $\vec{F}$: $W_{\vec{F}} = 100 \times 0{,}60 \cos 0^\circ = 60$ J e este trabalho é potente.
Força de atrito, $W_{\vec{F}_a} = 50 \times 0{,}60 \times \cos 180^\circ = -30$ J e este trabalho é resistente.

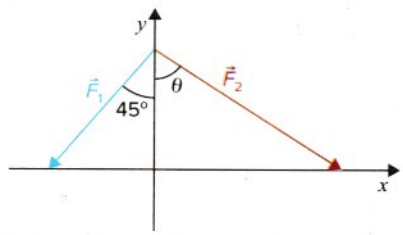
15.
15.1 O trabalho é dado por $W = Fd \cos \alpha$. Portanto, para os mesmos $F$ e $d$, quanto maior for $\cos \alpha$ (ou seja, menor $\alpha$), maior será $W$.
**a)** Força $\vec{F}_2$. ($\alpha = 0^\circ$, $\cos \alpha = 1$)
**b)** $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$. ($\alpha < 90^\circ$, $\cos \alpha > 0$)
**c)** $\vec{F}_1$, $\vec{F}_3$. (ambas as forças fazem 60° com o deslocamento)

15.2 Só a força $\vec{F}_5$ realiza trabalho resistente igual a $W = Fd \cos 150^\circ = 50 \times 0{,}80 \times (-0{,}87) = -35$ J.

16. O bloco desloca-se 5,00 m da direita para a esquerda.
Então, $W_1 = F_1 \times 5{,}00 \times \cos 45^\circ = 3{,}54\, F_1$ e
$W_2 = F_2 \times 5{,}00 \times \cos 120^\circ = -2{,}50\, F_2$. Como $|W_1| = |W_2|$, então $2{,}50\, F_2 = 3{,}54\, F_1$, pelo que $F_2 = 1{,}4\, F_1$.

17. Trabalho realizado pela força inicial, de intensidade $F$, quando o carrinho percorre a distância $d$: $W = Fd \cos 30^\circ$.
O trabalho da nova força, de intensidade $F'$, é
$W' = F' \times 2d \cos 15^\circ$. Como $W' = W \Rightarrow F' \times 2d \cos 15^\circ =$
$= Fd \cos 30^\circ \Leftrightarrow F' = \frac{\cos 30^\circ}{2 \cos 15^\circ} F \Leftrightarrow F' = 0{,}45\, F = 22{,}5$ N.

18. As forças fazem os seguintes ângulos com o deslocamento:

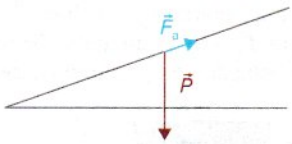



Como $W = F_1 d \cos 45^\circ$ e $W = F_2 d \cos \theta$, então:
$200 \times 10 \times \cos 45^\circ = 300 \times 10 \cos \theta \Leftrightarrow \cos \theta = 0{,}471 \Leftrightarrow \theta = 62^\circ$

19. Na descida, o trabalho do peso é $W_{\vec{P}} = Pd \cos 0^\circ = mgh$, o que permite escrever $10^5 = 10^3 \times 10 \times h$. Logo, $h = 10$ m.

20. Na subida, o trabalho do peso é $W_{\vec{P}} = Pd \cos 180^\circ = -mgh$, ou seja, $W_{\vec{P}} = -5{,}0 \times 10 \times 2{,}00 = -1{,}0 \times 10^2$ J. Como a força exercida pelo rapaz é simétrica do peso do haltere, a sua intensidade é igual à do peso ($F = P$), pelo que o seu trabalho é o simétrico do calculado anteriormente:
$W_{\vec{F}} = Pd \cos 0^\circ = 1{,}0 \times 10^2$ J

**21.** As duas forças estão representadas na figura seguinte:




A componente eficaz do peso é $P_{ef} = 1{,}0 \times 10 \times \sin 30^\circ = 5{,}0$ N e só esta componente realiza trabalho, pois a outra componente é perpendicular ao deslocamento. Logo, o trabalho do peso é $W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 0^\circ = 5{,}0 \times 10 = 50$ J.
O trabalho da força de atrito é $W_{\vec{F}_a} = F_a \times d \times \cos 180^\circ = -5{,}0 \times 10 = -50$ J.

**22.** O deslocamento do corpo é tal que $\sin\theta = \frac{h}{d}$ ou $d \times \sin\theta = h$. O trabalho do peso é:
$W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 0^\circ = mg \sin\theta \times d = mgh = 1000 \times 10 \times 2{,}0 = 2{,}0 \times 10^4$ J.
O deslocamento do centro de massa é $d = \frac{2}{\sin\theta} = \frac{2}{0{,}06} = 33$ m.

**23.**
**23.1** O trabalho do peso na subida é $W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 180^\circ = -mg \sin\theta\, d = -mgh$ e, na descida, é $W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 0^\circ = mg \sin\theta\, d = mgh$, em que $h$ é o desnível (positivo) entre a posição inicial e a posição final.
**a)** $W_{\vec{P}} = Pd \cos 90^\circ = 0$.
**b)** $W_{\vec{P}} = -10 \times 10 \times 20 = -2{,}0 \times 10^3$ J.
**c)** $W_{\vec{P}} = 10 \times 10 \times 20 = 2{,}0 \times 10^3$ J.
**d)** Como o desnível entre a posição inicial e final é zero, $W_{\vec{P}} = 0$.

**23.2** O ângulo de inclinação, $\theta$, é tal que $\sin\theta = \frac{\overline{CD}}{\overline{BC}} = \frac{20}{30} = 0{,}667$, logo $\theta = 41{,}8^\circ$. O módulo da força normal é $N = P \cos 41{,}8^\circ = 74{,}5$ N e o da força de atrito é $F_a = 0{,}30 \times 74{,}5 = 22{,}4$ N.
O trabalho da força de atrito é $W_{\vec{F}_a} = 22{,}4 \times 30 \times \cos 180^\circ = -6{,}7 \times 10^2$ J.

**24.**
**24.1** O trabalho da força $\vec{F}$ é $W = 15 \times 2{,}0 \times \cos 20^\circ = 28$ J.

**24.2** A altura $h$ a que o bloco chega depois de ter subido 2,0 m na rampa é obtida a partir de $\sin 35^\circ = \frac{h}{2{,}0} \Leftrightarrow h = 1{,}15$ m.
Na subida, $W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 180^\circ = -mg \sin\theta\, d = -mgh = -17$ J; na descida, $W_{\vec{P}} = P_{ef} \times d \times \cos 0^\circ = mg \sin\theta\, d = mgh = 17$ J.

### 1.1.5 Teorema da Energia Cinética PÁG. 7

**25.** (D). Segundo o Teorema da Energia Cinética, $\Delta E_c = W$. Se o trabalho for negativo, a energia cinética diminuirá e, portanto, a velocidade também diminuirá.

**26.** A força tem sentido oposto ao do movimento porque a velocidade diminui. Como o trabalho do peso e da normal são nulos, o trabalho total é igual ao trabalho da força aplicada. Então, de $W = \Delta E_c$, tem-se:
$W_{\vec{F}} = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) \Rightarrow F \times 3 \times \cos 180^\circ = \frac{1}{2} \times 2{,}0 \times (2{,}0^2 - 4{,}0^2) \Leftrightarrow F = 4{,}0$ N.

**27.** (A). Se a resultante das forças, $\vec{F}_R$, realiza trabalho resistente, então é porque tem sentido contrário ao do movimento.

Pelo Teorema da Energia Cinética, $W = \Delta E_c$, vem:
$-16 = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) \Leftrightarrow -16 = \frac{1}{2} \times 2{,}0(v_f^2 - 5{,}0^2) \Leftrightarrow v_f = 3{,}0$ m s$^{-1}$
Logo, $v_f - v_i = 3{,}0 - 5{,}0 = -2{,}0$ m s$^{-1}$.

**28.**
**28.1** Pelo Teorema da Energia Cinética:
$W = \Delta E_c = \frac{1}{2} \times 0{,}800 \times (2{,}0^2 - 1{,}0^2) = 1{,}2$ J.

**28.2** Sobre o carrinho atuam o peso, a força normal, a força de 2,0 N e a força de atrito, cuja intensidade é $F_a = 0{,}20 \times 0{,}800 \times 10 = 1{,}6$ N. O trabalho do peso e da normal são nulos, pois essas forças são perpendiculares ao deslocamento; por isso, o trabalho total é igual ao trabalho das restantes forças. Pelo Teorema da Energia Cinética, vem:
$W = \Delta E_c \Rightarrow W_{\vec{F}} + W_{\vec{F}_a} = \frac{1}{2}(v_f^2 - v_i^2) \Rightarrow Fd \cos 0^\circ + F_a\, d \cos 180^\circ = \frac{1}{2} \times 0{,}800 \times (1{,}0^2 - 0) \Leftrightarrow 2{,}0\, d - 1{,}6\, d = 0{,}400 \Leftrightarrow d = 1{,}0$ m.

**29.** A velocidade inicial do carro é 90 km h$^{-1}$ = 25 m s$^{-1}$. Sobre o carro atuam o peso, a força normal e a força de atrito, mas apenas esta realiza trabalho e a sua intensidade é $F_a = 0{,}40\, P = 0{,}40 \times 1000 \times 10 = 4000$ N; o trabalho total, $W$, é igual ao trabalho desta força. Pelo Teorema da Energia Cinética, vem $W = \Delta E_c \Rightarrow F_a\, d \cos 180^\circ = \frac{1}{2} 1000\,(0 - 25^2) \Leftrightarrow 4000\, d = -3{,}13 \times 10^5 \Leftrightarrow d = 78$ m. Como o carro já tinha andado 10 m, antes de o condutor pôr o pé no travão, o carro acabou por percorrer 88 m, ou seja, mais de 80 m, pelo que passou o sinal vermelho.

**30.**
**30.1** O trabalho de uma batida é:
$W_1 = \Delta E_c = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2} 0{,}100(0{,}14^2 - 0^2) = 9{,}8 \times 10^{-4}$ J.

**30.2** Num dia, $W_{dia} = W_1 \times 80 \times 60 \times 24 = 1{,}1 \times 10^2$ J.

**31.** O trabalho da resultante das forças é igual à variação da energia cinética.
**31.1** Como a velocidade aumenta, a resultante das forças, $F_R$, tem o sentido do movimento:
$W = \Delta E_c \Rightarrow 0{,}72\, F_R \cos 0^\circ = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) \Leftrightarrow 0{,}72\, F_R = \frac{1}{2} \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times (480^2 - 0) \Leftrightarrow F_R = 8{,}0 \times 10^2$ N.

**31.2** Como a velocidade diminui, a resultante das forças tem sentido oposto ao do movimento:
$W = \Delta E_c \Rightarrow 0{,}040\, F_R \cos 180^\circ = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$
$\Leftrightarrow -0{,}040\, F_R = \frac{1}{2} \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times (0 - 400^2) \Leftrightarrow F_R = 1{,}0 \times 10^4$ N.

**32.** Como o peso e a força normal não realizam trabalho, pois são perpendiculares ao deslocamento, o trabalho total é igual ao trabalho da força com que é empurrado o trenó:
$W = \Delta E_c \Leftrightarrow Fd \cos 0^\circ = \frac{1}{2} m(v^2 - 0) \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2Fd}{m}}$.
**32.1** (D). Se $F' = 3F$, então:
$v' = \sqrt{\frac{2F'd}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3Fd}{m}} = \sqrt{3} \times \sqrt{\frac{2Fd}{m}} = \sqrt{3}\, v$.

**32.2** (C). Se $m' = 2m$, então:
$v' = \sqrt{\frac{2Fd}{m'}} = \sqrt{\frac{2Fd}{2m}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{2Fd}{m}} = \frac{v}{\sqrt{2}}$.

**33.** Como $W = \Delta E_c$, o trabalho realizado pela resultante das forças é:
$W = \Delta E_c = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2} \times 2000 \times (0 - 10^2) = -1{,}0 \times 10^5$ J.
O trabalho realizado pelo peso é:
$W_{\vec{P}} = Pd \cos 0^\circ = 20\,000 \times 0{,}12 = 2{,}4 \times 10^3$ J.
Como $\frac{1{,}0 \times 10^5}{2{,}4 \times 10^3} = 42$, a resultante das forças realiza um trabalho que, em módulo, é 42 vezes maior do que o trabalho realizado pelo peso.

**34.** No bloco atuam: a força $\vec{F}$, dirigida para cima e fazendo 0° com o deslocamento; o peso, $\vec{P}$; a normal, $\vec{N}$ (que não realiza trabalho), cujo módulo é $N = P \cos 20^\circ = 9{,}4$ N; e a força de atrito, cuja intensidade é $F_a = 0{,}20\,N = 0{,}20 \times 9{,}4 = 1{,}9$ N.
Tem-se $W = \Delta E_c \Leftrightarrow W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}_a} = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) = 0$,
pois a velocidade é constante. Como a inclinação do plano é 20°, pode calcular-se o deslocamento: $\sin 20^\circ = \frac{h}{d} \Leftrightarrow$
$d = \frac{h}{\sin 20^\circ} = 8{,}8$ m. O trabalho do peso é $W_{\vec{P}} = -1{,}0 \times 10 \times 3{,}0 =$
$= -30$ J; o trabalho da força $\vec{F}$ é $W_{\vec{F}} = 8{,}8\,F$; o trabalho da força de atrito é $W_{\vec{F}_a} = F_a\, d \cos 180^\circ = -17$ J. Então, $W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}_a} = 0$
$\Rightarrow 8{,}8\,F - 30 - 17 = 0 \Leftrightarrow F = 5{,}3$ N.
OU:
$Fd \cos 0^\circ + (-mgd \sin 20^\circ) + F_a\, d \cos 180^\circ = 0$
$\Leftrightarrow Fd - mgd \sin 20^\circ - 0{,}20\,Nd = 0$
$\Leftrightarrow F - mg \sin 20^\circ - 0{,}20\,mg \cos 20^\circ = 0$
$\Leftrightarrow F = mg(\sin 20^\circ + 0{,}20 \cos 20^\circ)$
$\Leftrightarrow F = 5{,}3$ N.

## 1.1.6, 1.1.7 e 1.1.8 Forças conservativas e sistemas conservativos PÁG. 8

**35.** (A). O trabalho de uma força conservativa depende exclusivamente das posições inicial e final, independentemente da trajetória seguida e da velocidade nesses pontos.

**36.** Como o peso é uma força conservativa, realizaria igual trabalho, qualquer que fosse a trajetória entre as posições inicial e final se o desnível entre elas fosse igual, uma vez que $W_{\vec{P}} = -\Delta E_{pg} = -(mgh_f - mgh_i)$, sendo $h_f - h_i$ o desnível entre as posições.

**37.**
**37.1** (A). Note-se que:
$W_{\vec{P}}$ (A ⟶ B) $= -\Delta E_{pg} = -(mgh_B - mgh_A) = 4{,}0\,mg$.
$W_{\vec{P}}$ (B ⟶ C) $= -(mgh_C - mgh_B) = -7{,}0\,mg$.
$W_{\vec{P}}$ (A ⟶ C) $= -(mgh_C - mgh_A) = -3{,}0\,mg$.

**37.2** (C), pois $W_{\vec{P}} = -mgh$ ($W_{\vec{P}}$ é diretamente proporcional à altura $h$, sendo $-mg$ a constante de proporcionalidade, que é igual ao declive da reta).

**38.** O trabalho do peso só depende do desnível $h$ entre as posições final e inicial. Como o trabalho é resistente, tem-se:
$W_{\vec{P}} = -\Delta E_{pg}\ W = -(mgh_f - mgh_i) = -mg(h_f - h_i)$
$\Rightarrow -4{,}80 \times 10^6 = -70 \times 10 \times (8{,}85 \times 10^3 - h_i)$
$\Leftrightarrow h_i = 1{,}99 \times 10^3$ m $= 1{,}99$ km.

**39.** Variação da energia potencial gravítica em cada degrau: $\Delta E_{p1} = 60 \times 10 \times 0{,}20 = 120$ J. Para cinco degraus é $\Delta E_p = 600$ J. A variação de energia potencial gravítica é simétrica do trabalho realizado pelo peso: $W_{\vec{P}} = -\Delta E_{pg} = -600$ J.

**40.** $E_p = mgh$, em que $h$ é a distância ao solo (nível escolhido para zero da energia potencial gravítica). Como a massa é a mesma e a altura também é a mesma, tem-se $\frac{E_p(\text{Terra})}{E_p(\text{Marte})} = \frac{mg_T h}{mg_M h} =$
$= 2{,}6$, ou seja, na Terra a energia potencial gravítica é 2,6 vezes maior.

**41.**
**41.1** Sobre o bloco atuam as duas forças representadas, a força normal, a força de atrito e a força gravítica. Só esta última é conservativa, sendo nulo o seu trabalho, pois o deslocamento é perpendicular a essa força.

**41.2** O trabalho da força normal, tal como o do peso, é nulo. O trabalho total é $W = W_{\vec{F}_1} + W_{\vec{F}_2} + W_{\vec{F}_a}$. A intensidade da força de atrito é $F_a = 0{,}20 \times 10 = 2{,}0$ N. Como $W = \Delta E_c$, tem-se
$F_1\, d \cos 140^\circ + F_2\, d \cos 60^\circ + F_a\, d \cos 180^\circ = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$
$\Leftrightarrow 1{,}0 \times 3{,}0 \times \cos 140^\circ + 2{,}0 \times 3{,}0 \times \cos 60^\circ + 2{,}0 \times 3{,}0 \times \cos 180^\circ =$
$\frac{1}{2} \times 1{,}0 \times (4^2 - v_i^2) \Leftrightarrow v_i = 5{,}2$ m s$^{-1}$.
Variação do módulo da velocidade: $\Delta v = v_f - v_i = -1{,}2$ m s$^{-1}$.

**42.**
**42.1** A força normal, que não realiza trabalho (trabalho nulo), e a força aplicada, $\vec{F}$, que realiza trabalho potente.

**42.2 a)** O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ é $W_{\vec{F}} = Fd \cos 0^\circ$. Como a distância $d$ na situação A é o dobro da situação B, então $W_{\vec{F}}$ (A) $= 2\,W_{\vec{F}}$ (B).

**b)** O trabalho do peso é igual, pois $W_{\vec{P}} = -\Delta E_{pg} = -mgh$, e a altura da plataforma é a mesma.

**c)** Como $W = \Delta E_c$, tem-se $W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}} = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$. A força normal não realiza trabalho e a velocidade inicial é nula, logo $W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} = \frac{1}{2} m v_f^2$. Como o trabalho do peso é igual nas duas situações e o trabalho da força é maior na situação A, então há maior variação de energia cinética na situação A, por isso, a velocidade final é maior nesta situação.

**42.3** (D). A energia potencial gravítica varia (aumenta) porque o caixote sobe. A energia cinética do caixote varia (aumenta) porque varia a velocidade; logo, a soma destas variações também varia (aumenta) nas duas situações.

**43.** (A). A variação de energia cinética é $\Delta E_c = 200 - 50 =$
$= 150$ J. Como só o peso atua na partícula, esta variação de energia cinética é igual ao trabalho do peso, de acordo com o Teorema da Energia Cinética. Por outro lado, a conservação da energia mecânica permite escrever:
$\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow \Delta E_p + \Delta E_c = 0 \Leftrightarrow \Delta E_p = -\Delta E_c$

**44.**

**44.1** Há conservação da energia mecânica porque só atua uma força conservativa que é o peso: $E_c\,(A) + E_p\,(A) = E_c\,(B) + E_p\,(B)$, em que A é o ponto de partida (8,0 m acima do solo) e B é o ponto 3,0 m acima do solo. A energia cinética é nula em A. Então, $mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow v = \sqrt{2g(h_A - h_B)}$ $\Leftrightarrow v = \sqrt{2 \times (8{,}0 - 3{,}0) \times 10} = 10\ m\ s^{-1}$.

**44.2** (B). A energia mecânica é constante, pois só atua uma força conservativa, o peso.
A energia potencial gravítica é dada por $E_{pg} = mgh$, ou seja, é tanto maior quanto maior a altura $h$, por isso, o gráfico de $E_{pg}\,(h)$ é uma reta de declive $mg$.
Na altura máxima, a energia mecânica é igual à energia potencial gravítica, pois a energia cinética é zero:
$E_m = mgh_A$ = constante
Como $E_m = E_{pg} + E_c$, então a energia cinética, em função da altura ao solo, é $E_c = E_m - mgh$ ou $E_c = mgh_A - mgh$, por isso, o gráfico de $E_c\,(h)$ é uma reta de declive igual a $-mg$ e ordenada na origem igual a $mgh_A$.
Em cada ponto da trajetória, a soma $E_{pg} + E_c$ é sempre igual a $mgh_A$.

**45.**

**45.1 a)** Como $h_A = 0$, tem-se:
$E_m = E_c + E_{pg} = \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} \times 0{,}420 \times 10^2 = 21\ J$.

**b)** Seja A a posição inicial e B a posição de altura máxima:
$E_{mA} = E_{mB} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B$; como $h_A = 0$ e, na altura máxima, $v_B = 0{,}40 \times 10 = 4{,}0\ m\ s^{-1}$, vem $h_B = \frac{v_A^2 - v_B^2}{2g}$ $\Leftrightarrow h_B = \frac{100 - 16}{2 \times 10} = 4{,}2\ m$.

**c)** Seja A a posição inicial e C a posição da bola quando é agarrada: $E_{mA} = E_{mC} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgh_C$; como $h_A = 0$, vem $v_A^2 = v_C^2 + 2gh_C \Leftrightarrow v_C = \sqrt{10^2 - 2 \times 10 \times 1{,}8} = 8{,}0\ m\ s^{-1}$.

**45.2** Sendo X e Y esses pontos, $E_{mX} = E_{mY} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_X^2 + mgh_X =$ $= \frac{1}{2}mv_Y^2 + mgh_Y$. Como $h_X = h_Y$, resulta $\frac{1}{2}mv_X^2 = \frac{1}{2}mv_Y^2$, logo $v_X = v_Y$.

**46.** (C). Energia mecânica (igual à energia potencial inicial): $E_m = mgh$. A energia potencial a dois terços da altura máxima é $E_p = \frac{2}{3}mgh$, pelo que a sua variação foi $\Delta E_p = \frac{2}{3}mgh - mgh =$ $= -\frac{1}{3}mgh$. Como $E_m = E_p + E_c$, a energia cinética naquela posição é $E_c = E_m - E_p = mgh - \frac{2}{3}mgh = \frac{1}{3}mgh$.

**47.** (D). O trabalho é $W_{\vec{P}} = mgh$, sendo $h$ o desnível entre os pontos final e inicial, qualquer que seja a trajetória entre as posições inicial e final, pois o peso é uma força conservativa.
A conservação da energia permite escrever:
$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 \Leftrightarrow v^2 = v_0^2 + 2gh \Leftrightarrow v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$.

**48.**

**48.1** $W_{\vec{P}} = -\Delta E_{pg} = mgh \Rightarrow W_{\vec{P}} = 0{,}050 \times 10 \times 0{,}80 = 0{,}40\ J$.

**48.2** Como só atua o peso, que é uma força conservativa, há conservação da energia mecânica.
**a)** Seja A a posição da bola no ponto mais alto da trajetória e B a posição ao atingir o chão:
$E_{mA} = E_{mB} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B$.
Como $h_B = 0$, vem:
$v_B^2 = v_A^2 + 2gh_A \Leftrightarrow v_B = \sqrt{6{,}0^2 + 2 \times 10 \times 1{,}20} = 7{,}7\ m\ s^{-1}$.

**b)** Seja A a posição da bola no ponto mais alto da trajetória e C a posição em que é lançada:
$E_{mA} = E_{mC} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgh_C$
$\Leftrightarrow v_A^2 + 2gh_A = v_C^2 + 2gh_C \Leftrightarrow v_C^2 = v_A^2 + 2gh_A - 2gh_C \Rightarrow$
$v_C = \sqrt{6{,}0^2 + 2 \times 10 \times (1{,}20 - 0{,}80)} = 6{,}6\ m\ s^{-1}$.

**c)** Seja A a posição da bola no ponto mais alto da trajetória e D a posição ao atingir um terço da altura máxima:
$E_{mA} = E_{mD} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_D^2 + mgh_D$
$\Leftrightarrow v_A^2 + 2gh_A = v_D^2 + 2gh_D \Leftrightarrow v_D^2 = v_A^2 + 2gh_A - 2gh_D$
$\Rightarrow v_C = \sqrt{6{,}0^2 + 2 \times 10 \times (1{,}20 - 0{,}40)} = 7{,}2\ m\ s^{-1}$.

**49.**

**49.1** (B). A energia potencial gravítica, $E_p\,(h) = mgh$, é uma função linear em $h$ e de declive positivo (dado por $mg$).

**49.2** (D). Como há conservação de energia mecânica, $\Delta E_c = -\Delta E_p = -mg(h_C - h_B) = mg\,(h_B - h_C) = mg\left(h_B - \frac{2}{3}h_B\right) =$ $= \frac{1}{3}mgh_B$. Nota: (A) está incorreta porque o trabalho é negativo; (B) está incorreta porque $\Delta E_p$ (A ⟶ B) > 0 e $\Delta E_p$ (B ⟶ D) < 0; (C) está incorreta porque a variação de energia cinética é negativa, pois a velocidade diminui.

**49.3** Conservação da energia mecânica:
$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B$. Como $h_A = 0$, vem:
$\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow v_B^2 = v_A^2 + 2gh_A$
Como $v_A = v$ e $v_B = \frac{v}{3}$, vem:
$v^2 = \left(\frac{v}{3}\right)^2 + 2gh_B \Leftrightarrow \frac{8}{9}v^2 = 2gh_B \Leftrightarrow h_B = \frac{4v^2}{9g}$.

**50.**

**50.1** O peso é a única força que atua na bola e o seu trabalho pode ser calculado usando o Teorema da Energia Cinética:
$W_{\vec{P}} = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}m\left[\left(\frac{v}{2}\right)^2 - v^2\right] = -\frac{3}{8}mv^2$.

**50.2** Pela conservação da energia mecânica:
$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 + mgh \Leftrightarrow h = \frac{3v^2}{8g}$.

**51.** O esquiador abandona a pista (ponto A) com $v_A = 20\ m\ s^{-1}$ e a uma altura, em relação a B, igual a $h_A = d \sin 30° = 5\ m$. Consideremos o nível de B como referência para a energia potencial gravítica. Como $E_{mA} = E_{mB}$, vem:
$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow v_B^2 = v_A^2 + 2gh_A$
$\Leftrightarrow v_B = \sqrt{20^2 + 2 \times 10 \times 5} = 22{,}4\ m\ s^{-1} = 81\ km\ h^{-1}$.

**52.**

**52.1** A velocidade máxima é atingida no ponto B. Considerando $h_B = 0$ e $v_A = 10\ m\ s^{-1}$, vem:

$E_{mA} = E_{mB} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B$

$\Leftrightarrow v_B^2 = v_A^2 + 2gh_A \Leftrightarrow v_B = \sqrt{10^2 + 2 \times 10 \times 10} = 17\ m\ s^{-1}$.

**52.2** A altura máxima a que sobe o trenó é a da posição em que a sua velocidade se anula. Considerando que é a posição D, então $E_{mA} = E_{mD} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} m v_D^2 + mgh_D$

$\Leftrightarrow v_A^2 + 2gh_A = 2gh_D \Leftrightarrow h_D = \frac{v_A^2 + 2gh_A}{2g} = 15\ m$. Como $\sin 30^\circ = \frac{h}{d}$, a distância percorrida é $d = 30\ m$, que é menor do que 32 m, logo o trenó não cai no precipício.

**53.** (A). Para a posição inicial e de altura máxima (velocidade nula), a conservação da energia mecânica permite escrever

$\frac{1}{2} m v_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v^2 = mgh_B$

$\Leftrightarrow v^2 = 2gh_B$. Mas, $\sin \alpha = \frac{h_B}{d} \Leftrightarrow h_B = d \sin \alpha$. Então, $v^2 = 2gh_B$

$\Leftrightarrow v^2 = 2gd \sin \alpha \Leftrightarrow d = \frac{v^2}{2g \sin \alpha}$.

### 1.1.9 Forças não conservativas e sistemas não conservativos PÁG. 13

**54.** (B). $W_{Fnc} = \Delta E_m$ e, quando as forças não conservativas são dissipativas, $W_{Fdiss} < 0$ e a energia mecânica do sistema diminui.

**55.** (D). A energia mecânica do sistema diminui (dissipa-se) devido ao trabalho da força não conservativa, que é a força de resistência do ar: $\Delta E_m = W_{Fnc} < 0$, sendo $E_{diss} = |W_{Fnc}|$.

**56.** Como $W_{Fnc} = \Delta E_m$, então $W_{R_{ar}} = \Delta E_p + \Delta E_c$. Como na parte final da trajetória a energia cinética é constante, a sua variação é nula, logo $W_{R_{ar}} = \Delta E_p = 0 - mgh$

$\Leftrightarrow W_{R_{ar}} = -2{,}5 \times 10^{-3} \times 10 \times 10 = -0{,}25\ J$.

**57.**

**57.1** Se houvesse conservação de energia mecânica, a energia mecânica ao chegar ao solo seria igual à inicial: $E_m = mgh = 0{,}020 \times 10 \times 10 = 2{,}0\ J$. A energia mecânica com que o balão chegou ao solo é

$E'_m = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}020 \times 13^2 = 1{,}7\ J < 2{,}0\ J$, logo houve uma diminuição de energia mecânica, devido ao trabalho resistente da resistência do ar.

OU:

Pode calcular-se a velocidade com que o balão chegaria ao solo, se houvesse conservação de energia mecânica:

$\frac{1}{2} m v_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow v_B^2 = 2gh_A$

$\Leftrightarrow v = \sqrt{200} = 14\ m\ s^{-1} > 13\ m\ s^{-1}$

Como o balão chegou com uma velocidade menor, houve diminuição de energia mecânica.

**57.2** Como $W_{Fnc} = \Delta E_m$, então $W_{R_{ar}} = \Delta E_p + \Delta E_c =$

$= (0 - mgh) + \frac{1}{2} m(v^2 - 0)$, em que $v$ é a velocidade real.

Então, $W_{R_{ar}} = -2{,}0 + 1{,}7 = -0{,}3\ J$.

**57.3** (B). A energia mecânica é maior para uma altura maior, mas a opção (A) está incorreta, pois, para $h = 0$, a energia mecânica não é nula.

**58.**

**58.1** $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p = mgh = 60 \times 10 \times 6{,}0 = 3{,}6 \times 10^3\ J$.

**58.2** A energia mecânica na base do escorrega é 90% da do topo. Tomando o zero da energia potencial gravítica no nível da água, a energia mecânica na posição inicial (A) é:

$E_{mA} = \frac{1}{2} m v_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} \times 60 \times 5{,}0^2 + 60 \times 10 \times 6{,}0 =$

$= 4{,}35 \times 10^3\ J$.

A energia mecânica na base (B) é 90% da do topo:

$E_{mB} = 0{,}90\ E_{mA} = 3{,}92 \times 10^3\ J$. Portanto, $3{,}92 \times 10^3 = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B$

$\Leftrightarrow 3{,}92 \times 10^3 = \frac{1}{2} \times 60\ v^2 + 60 \times 10 \times 2{,}0 \Leftrightarrow v_B = 9{,}5\ m\ s^{-1}$.

Da base do escorrega até à água (C) não há forças não conservativas, por isso $E_{mC} = E_{mB} = 0{,}90\ E_{mA}$:

$\frac{1}{2} \times 60 \times v^2 = 3{,}92 \times 10^3 \Leftrightarrow v_C = 11{,}4\ m\ s^{-1}$. O módulo da velocidade variou $\Delta v = 11{,}4 - 9{,}5 = 1{,}9\ m\ s^{-1}$.

**59.**

**59.1** No intervalo de tempo [2,5; 40,0] s, a variação de energia mecânica é positiva, pois a energia cinética não varia e a energia potencial aumenta, logo $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = 0 + \Delta E_p > 0$, por isso, a energia mecânica não é constante.

**59.2** (D). $W_{Fnc} = \Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$. No intervalo de tempo [0,0; 2,5] s, tem-se $\Delta E_c > 0$ e $\Delta E_p > 0$, logo $\Delta E_m > 0$ e $W_{Fnc} > 0$; no intervalo de tempo [2,5; 40,0] s, tem-se $\Delta E_c = 0$ e $\Delta E_p > 0$, logo $\Delta E_m > 0$ e $W_{Fnc} > 0$.

OU:

No intervalo [2,5; 40,0] s, o trabalho das forças não conservativas e da força gravítica (que é a única força conservativa) é nulo, pois não há variação de energia cinética: $W_{Fnc} + W_{\vec{P}} = \Delta E_c = 0$, logo $W_{Fnc} = -W_{\vec{P}} = -(-mgh) > 0$, sendo $h$ o desnível das posições do elevador nos extremos do intervalo de tempo.

**60.**

**60.1** A força de atrito (aponta para baixo) e a força exercida pelos cabos e que faz subir o elevador (aponta para cima).

**60.2** O trabalho da força de atrito (a única força dissipativa) é $W_{\vec{F}_a} = F_a\ d \cos 180^\circ = -500 \times 20 = -1{,}0 \times 10^4\ J$. A energia dissipada é igual ao módulo do trabalho da força de atrito, ou seja, $1{,}0 \times 10^4\ J$.

**60.3** $W_{Fnc} = \Delta E_m \Leftrightarrow W_{\vec{F}} + W_{\vec{F}_a} = \Delta E_p + \Delta E_c$. Como a velocidade é constante, a variação de energia cinética é nula, então:

$Fd \cos 0^\circ + F_a\ d \cos 180^\circ = (mgh - 0) \Rightarrow 20\ F - 500 \times 20 =$

$= 2000 \times 10 \times 20 \Leftrightarrow F = 2{,}1 \times 10^4\ N$.

**61.**

**61.1** (C). A energia cinética inicial é $E_c = \frac{1}{2} m v^2$. Se o módulo da velocidade duplicar, $v' = 2v$, a energia cinética quadruplicará:

$E'_c = \frac{1}{2} m v'^2 = \frac{1}{2} m(2v)^2 = 4 \times \frac{1}{2} m v^2 = 4 E_c$.

**61.2** (D). $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p = -(mgh_f - mgh_i) = mgh_i - mgh_f$. De A para C, o trabalho do peso é positivo e depende do desnível, que é igual entre A e B e entre B e C. Entre C e D, o trabalho do peso é nulo (o desnível é zero).

**61.3 a)** A energia dissipada é igual ao módulo da variação da energia mecânica, $\Delta E_m$, sendo $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$. Entre C e D não há variação de energia potencial gravítica, $\Delta E_p = 0$, apenas de energia cinética. Como o módulo da velocidade do carrinho em D é metade do que tem em C, a energia cinética em D passa para um quarto; conclui-se que foi dissipada três quartos da energia inicial; como $\frac{3}{4} = 0{,}75$, houve uma diminuição de 75% da energia mecânica, ou seja, 75% da energia foi dissipada.

**b)** Velocidade em C:

$E_{mA} = E_{mC} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgh_C$

$\Leftrightarrow v_C^2 = v_A^2 + 2gh_A \Leftrightarrow v_B = \sqrt{8{,}0^2 + 2 \times 10 \times 18} = 20{,}6 \text{ m s}^{-1}$

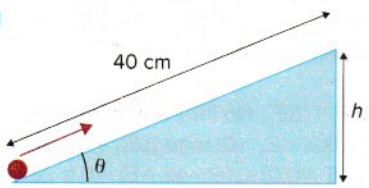
Entre C e D: $W_{Fnc} = \Delta E_m \Leftrightarrow W_{\vec{N}} + W_{\vec{F}} = \Delta E_p + \Delta E_c$

Como $W_{\vec{N}} = 0$ e $\Delta E_p = 0$, vem $Fd \cos 180^\circ = \frac{1}{2}m\left[\left(\frac{v}{2}\right)^2 - v^2\right]$

$\Leftrightarrow -F \times 13 = \frac{1}{2} \times 600 \times (10{,}3^2 - 20{,}6^2) \Leftrightarrow F = 7{,}3 \times 10^3$ N.

**62.**

**62.1**




Como $\Delta E_p = 0{,}816$ J, então $0{,}816 = mgh - 0 \Leftrightarrow h = 0{,}136$ m.

Portanto, $\sin\theta = \frac{0{,}136}{0{,}40} \Rightarrow \theta = 20^\circ$.

**62.2** A energia dissipada é igual ao módulo da variação de energia mecânica. Energia mecânica inicial:

$E_{m,i} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}600 \times 2{,}70^2 = 2{,}187$ J

A energia mecânica final: $E_{m,f} = E_p = mgh = 0{,}816$ J

Então, $\Delta E_m = 0{,}816 - 2{,}187 = -1{,}371$ J. Dissipou-se 1,37 J.

**62.3** Como $W_{Fnc} = \Delta E_m \Leftrightarrow W_{\vec{N}} + W_{\vec{F}_a} = \Delta E_m$ e $W_{\vec{N}} = 0$, então $F_a d \cos 180^\circ = -1{,}37 \Leftrightarrow -F_a \times 0{,}40 = -1{,}37 \Leftrightarrow F_a = 3{,}43$ N.

O peso é $P = 6{,}00$ N, pelo que $\frac{F_a}{P} = 0{,}57$. A intensidade da força de atrito é 57% da intensidade do peso.

**63.**

**63.1** $\Delta E_p = (mgh_f - mgh_i) \Rightarrow -1{,}50 = 0 - 0{,}500 \times 10h_i$

$\Rightarrow h_i = 0{,}30$ m.

**63.2** No fundo da rampa (B), a energia mecânica é toda ela cinética, sendo 80% da energia mecânica inicial (A):

$E_B = 0{,}80\, E_A \Leftrightarrow E_{c,B} = 0{,}80\, mgh \Leftrightarrow E_{c,B} = 0{,}80 \times 1{,}50 = 1{,}2$ J.

Aplicando o Teorema da Energia Cinética ao percurso horizontal, vem $W = \Delta E_c \Rightarrow W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}} + W_{\vec{F}_a} = 0 - 1{,}2$. Como $W_{\vec{P}} = W_{\vec{N}} = 0$, pois as forças são perpendiculares ao deslocamento, vem:

$F_a d \cos 180^\circ = -1{,}2 \Leftrightarrow -0{,}35\, mgd = -1{,}2 \Leftrightarrow d = 0{,}69$ m

**64.**

**64.1** A energia dissipada é igual ao módulo da variação da energia mecânica, $|\Delta E_m|$, sendo $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$. Entre C e D não há variação de energia potencial gravítica, $\Delta E_p = 0$, logo $\Delta E_m = \Delta E_c$. Aplicando o Teorema da Energia Cinética, vem $W = \Delta E_c \Rightarrow W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}} + W_{\vec{F}_a} = \Delta E_c$. Como $W_{\vec{P}} = W_{\vec{N}} = 0$, pois as forças são perpendiculares ao deslocamento, vem $F_a d \cos 180^\circ = \Delta E_c \Leftrightarrow \Delta E_c = -0{,}30\, mgd = -1{,}8 \times 10^3$ J.

A energia dissipada foi $1{,}8 \times 10^3$ J.

**64.2** (C). Entre A e C atua o peso e a força normal. Aplicando o Teorema da Energia Cinética, vem $W = \Delta E_c \Rightarrow W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}} = \Delta E_c$. Como $W_{\vec{N}} = 0$, por a força ser perpendicular ao deslocamento em cada ponto, vem $\Delta E_c = W_{\vec{P}}$; por outro lado, como o peso é uma força conservativa, $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p$.

**64.3.** (B). A energia mecânica em C é igual à energia mecânica em A, o que permite escrever $\frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ e concluir que a velocidade em C, $v$, não depende da massa. Mas a energia cinética, $\frac{1}{2}mv^2$, depende da massa e quanto maior for a massa maior será a energia cinética.

**64.4** (D). Conservação de energia mecânica entre A e B:

$\frac{1}{2}mv_B^2 + mg\frac{h}{2} = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$ e, portanto, $v_B = \sqrt{v_0^2 + gh}$.

### 1.1.10 Potência e rendimento PÁG. 16

**65.** (D). $P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{3000}{3} = 1000$ W $= 1$ kW.

**66.** O trabalho realizado pela força que iça o corpo é $W = Fd \cos 0^\circ = 120 \times 10 \times 10 = 1{,}2 \times 10^4$ J.

Como a transferência de energia ocorre em 0,5 min = 30 s, a potência necessária para içar o corpo é $P = \frac{12\,000}{30} = 4{,}0 \times 10^2$ W.

Esta é a potência útil.

Rendimento: em cada segundo, são necessários 400 J para elevar o pedregulho (energia útil). Como o motor utiliza 500 J em cada segundo (energia total), o rendimento é:

$\eta = \frac{E_{útil}}{E_{total}} = \frac{400}{500} = 0{,}80$, ou seja, 80%.

**67.** A partir da massa volúmica, obtém-se 400 kg para a massa de água a elevar por uma força $\vec{F}$. Como a velocidade é constante, e de acordo com o Teorema da Energia Cinética, $W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}} = \Delta E_c = 0$ , logo:

$W_{\vec{F}} = -W_{\vec{P}} = -(-mgh) = 4000 \times 20 = 8{,}0 \times 10^4$ J

Então, a potência útil é $P_{útil} = \frac{W_{\vec{F}}}{\Delta t} = \frac{8{,}0 \times 10^4}{80} = 1{,}0 \times 10^3$ W.

De $\eta = \frac{P_{útil}}{P_{total}} \Leftrightarrow 0{,}60 = \frac{1 \times 10^3}{P_{total}}$, obtém-se $P_{total} = 1{,}7 \times 10^3$ W, que é a potência total disponibilizada pela bomba.

**68.** A energia fornecida pelo motor é $E_{total} = P\Delta t = 72 \times 735{,}5 \times 10 = 5{,}30 \times 10^5$ J. A energia útil é $\eta = \frac{E_{útil}}{E_{total}} \Leftrightarrow 0{,}15 = \frac{E_{útil}}{5{,}30 \times 10^5} \Leftrightarrow E_{útil} = 7{,}95 \times 10^4$ J, que é a energia cinética adquirida pelo carro. Como $\frac{1}{2}mv^2 = 7{,}95 \times 10^4$, vem $v = 12{,}6 \text{ m s}^{-1} = 45 \text{ km h}^{-1}$.

Energia dissipada:

$E_{total} - E_{útil} = 5{,}30 \times 10^5 - 7{,}95 \times 10^4 = 4{,}5 \times 10^5$ J.

**69.** A velocidade é $v = 36\ km\ h^{-1} = 10\ m\ s^{-1}$. A energia cinética adquirida pelo carro é $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = 400 \times 10^2 = 4{,}0 \times 10^4$ J. Usando $\eta = \frac{E_{útil}}{E_{total}}$, obtemos a energia total fornecida pela gasolina: $E_{total} = \frac{4{,}0 \times 10^4}{0{,}14} = 2{,}86 \times 10^5$ J. Sabendo que 1 cal = 4,18 J, o volume de gasolina que fornece esta energia total é $V = \frac{2{,}86 \times 10^5}{8{,}20 \times 10^9 \times 4{,}18} = 8{,}3 \times 10^{-6}\ m^3 = 8{,}3\ cm^3$.

## Atividades laboratoriais PÁG. 16

**70.** $V = (34{,}0 \pm 0{,}5)\ cm^3$. A incerteza na leitura corresponde a metade da menor divisão da escala, ou seja, $0{,}5\ cm^3$. O número de casas decimais tem de ser o mesmo no valor estimado e na incerteza.

**71.** $t = (8{,}0 \pm 0{,}5)$ s.

**72.**

**72.1** 0,01 ms.

**72.2** O valor mais provável é $\frac{2{,}57 + 2{,}52 + 2{,}53 + 2{,}55}{4} = 2{,}54$ ms. Relativamente a este valor médio, os desvios absolutos das várias medições são $|d_1| = 0{,}03$ ms, $|d_2| = 0{,}02$ ms, $|d_3| = 0{,}01$ ms e $|d_4| = 0{,}01$ ms. O primeiro desvio, por ser o maior, e por ser maior que a incerteza de leitura, que é 0,01 s, determina a incerteza absoluta. O resultado das medições para o intervalo de tempo é $\Delta t = (2{,}54 \pm 0{,}03)$ ms ou, na unidade SI, $\Delta t = (2{,}54 \pm 0{,}03) \times 10^{-3}$ s.
O intervalo de tempo situa-se no intervalo $[2{,}51 \times 10^{-3}; 2{,}57 \times 10^{-3}]$ s.
Incerteza relativa percentual (ou desvio percentual): $\frac{|d_{máx}|}{\text{valor médio}} \times 100\ (\%) = \frac{0{,}03}{2{,}54} \times 100\ (\%) = 1{,}2\%$.

**72.3** Não existe um valor de referência.

**73.**

**73.1** Grupo I: o valor mais provável é $\frac{3{,}98 + 4{,}01 + 3{,}96}{3} = 3{,}98$ g. O maior dos desvios é 0,03 g, que é superior à incerteza de leitura, pelo que o valor da medida é: $m_I = (3{,}98 \pm 0{,}03)\ g = (3{,}98 \pm 0{,}03) \times 10^{-3}$ kg.

Grupo II: o valor mais provável é $\frac{3{,}95 + 4{,}05 + 3{,}98}{3} = 3{,}99$ g. O maior dos desvios é 0,06 g, que é superior à incerteza de leitura, pelo que o valor da medida é: $m_{II} = (3{,}99 \pm 0{,}06)\ g = (3{,}99 \pm 0{,}06) \times 10^{-3}$ kg.

**73.2) a)** A precisão das medidas é avaliada pela incerteza relativa percentual.
Grupo I: incerteza relativa percentual $= \frac{0{,}03}{3{,}98} \times 100\ (\%) = 0{,}75\%$
Grupo II: incerteza relativa percentual $= \frac{0{,}06}{3{,}99} \times 100\ (\%) = 1{,}5\%$
Há maior precisão das medidas do grupo I, pois a incerteza relativa percentual é menor.

**b)** A exatidão do resultado é avaliada pelo erro percentual.
Grupo I: erro percentual $= \frac{3{,}98 - 4{,}00}{4{,}00} \times 100\ (\%) = -0{,}50\%$
Grupo II: erro percentual $= \frac{3{,}99 - 4{,}00}{4{,}00} \times 100\ (\%) = -0{,}25\%$
Há maior exatidão no resultado obtido pelo grupo II, pois o módulo do erro percentual é menor: o resultado está mais próximo do valor de referência de 4,00 g indicado na embalagem.

**73.3** $\frac{m - 4{,}00}{4{,}00} \times 100\ (\%) = -1\%$ (o sinal negativo indica que a medida é por defeito), logo $m - 4{,}00 = -0{,}01 \times 4{,}00$ $\Rightarrow m = 3{,}96$ g (OU: $\frac{4{,}00\ g}{m} = \frac{100\%}{99\%} \Leftrightarrow m = 3{,}96$ g).

**73.4** A exatidão é afetada por erros sistemáticos, que influenciam o resultado experimental sempre no mesmo sentido. Neste caso, os resultados dos grupos I, II e III são todos por defeito e, por isso, a balança pode estar mal calibrada.

**74.**

**74.1** $m = (191{,}2 \pm 0{,}1) \times 10^{-3}$ kg; $\ell = (1{,}23 \pm 0{,}05) \times 10^{-2}$ m.

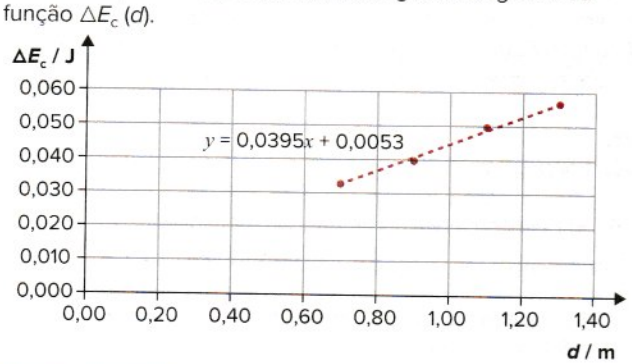
**74.2** (A). A velocidade mede-se indiretamente a partir da largura da tira e do intervalo de tempo que ela bloqueia a luz da célula, e a energia cinética também se mede indiretamente a partir da massa e da velocidade.

**74.3** O valor mais provável é $\frac{18 + 17 + 17}{3} = 17$ ms. Relativamente a este valor médio, os desvios absolutos das várias medições são $|d_1| = 1$ ms, $|d_2| = |d_3| = 0$. O resultado da medida é $\Delta t = (17 \pm 1)$ ms.

**74.4** O módulo da velocidade, $v$, é obtido dividindo a largura da tira, $\ell = 12{,}3 \times 10^{-3}$ m, por $\Delta t$ (expresso em segundos).
A energia cinética é obtida a partir de $E_c = \frac{1}{2} mv^2$, em que $m = 191{,}2 \times 10^{-3}$ kg e $v$ é a velocidade medida indiretamente. Como o carrinho é largado em repouso, a variação da energia cinética é igual à energia cinética final. A tabela mostra os valores da velocidade e da variação da energia cinética.

| $d$ / cm | $\Delta t$ / ms | $v$ / m s$^{-1}$ | $\Delta Ec$ / J |
|---|---|---|---|
| 70,00 | 22 | $\frac{1{,}23 \times 10^{-2}}{21 \times 10^{-3}} = 0{,}586$ | $3{,}3 \times 10^{-2}$ |
| | 21 | | |
| | 21 | | |
| 90,00 | 19 | $\frac{1{,}23 \times 10^{-2}}{19 \times 10^{-3}} = 0{,}647$ | $4{,}0 \times 10^{-2}$ |
| | 19 | | |
| | 20 | | |
| 110,00 | 18 | $\frac{1{,}23 \times 10^{-2}}{17 \times 10^{-3}} = 0{,}724$ | $5{,}0 \times 10^{-2}$ |
| | 17 | | |
| | 17 | | |
| 130,00 | 16 | $\frac{1{,}23 \times 10^{-2}}{16 \times 10^{-3}} = 0{,}769$ | $5{,}6 \times 10^{-2}$ |
| | 16 | | |
| | 17 | | |

A variação da energia cinética aumenta linearmente com a distância percorrida, como mostra o gráfico seguinte da função $\Delta E_c\ (d)$.



# RESPOSTAS

Pelo Teorema da Energia Cinética, a variação da energia cinética é igual ao trabalho da resultante das forças que atuaram no carrinho: $W = \Delta E_c = F_R\, d \cos 0°$. A equação da reta de ajuste aos pontos experimentais é $y = 0{,}0395x + 0{,}525$ ou $\Delta E_c = 0{,}0395d + 0{,}525$. Conclui-se que a intensidade da resultante das forças é igual ao declive da reta: $F_R = 0{,}040$ N.

**75.**

**75.1** (C). Como $W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}} + W_{\vec{F}_a} = \Delta E_c$ e $W_{\vec{N}} = 0$, então $W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}_a} = \Delta E_c$. Quanto maior for a força de atrito, menor será o trabalho realizado (pois é negativo) e menor será a variação da energia cinética. Há maior energia dissipada no material II, pois corresponde menor variação da energia cinética.

**75.2 a)** Quanto menor for a distância percorrida, $d$, menor será a variação de energia cinética, $\Delta E_c$, logo menor será a velocidade $v$. Se o corpo chega à base da rampa com menor velocidade, a tira a ele ligado demora mais tempo a bloquear o feixe de luz emitido pela célula fotoelétrica ($v = \frac{\ell}{\Delta t}$, em que $\ell$ é a largura da tira de cartolina colocada no bloco e $\Delta t$ o intervalo de tempo de bloqueio da luz). Quando a distância for 80 cm, o cronómetro marca um tempo maior.

**b)** Lê-se no gráfico que $E_c = 0{,}280$ mJ. Portanto, $E_c = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow 280 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} \times 553{,}4 \times 10^{-3}\, v^2 \Leftrightarrow v = 1{,}01$ m s$^{-1}$. O valor mais provável para o intervalo de tempo é $\frac{17{,}37 + 17{,}56 + 17{,}81}{3} = 17{,}58$ ms. Então, $v = \frac{\ell}{\Delta t} \Rightarrow \ell = 1{,}01 \times 17{,}58 \times 10^{-3} = 1{,}78 \times 10^{-2}$ m $= 1{,}78$ cm.

**c)** Pelo Teorema da Energia Cinética, a variação da energia cinética é igual ao trabalho da resultante das forças que atuaram no carrinho: $W = \Delta E_c = F_R\, d \cos 0°$. Como a energia cinética inicial é nula, $\Delta E_c = E_c$, sendo $E_c$ a energia cinética final, tem-se $E_c = F_R\, d$, ou seja, o declive da reta é igual à intensidade da resultante das forças. Escolhendo no gráfico, para o material I, os pontos de abcissa 140 cm e 40 cm, obtemos $F_R = \frac{(280 - 80) \times 10^{-3}}{(140 - 40) \times 10^{-2}} = \frac{200 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-2}} = 0{,}20$ N. O peso é $P = 5{,}534$ N, pelo que $\frac{F_R}{P} = \frac{0{,}20}{5{,}534} = 3{,}6 \times 10^{-2}$, ou seja, $F$ é 3,6% de $P$.

**d)** Devido às forças de atrito, a energia mecânica diminui quando o bloco desce a rampa. Quanto maior for a distância percorrida, menor será a energia mecânica: a função $E_m(d)$ é representada pelo gráfico D (no eixo das abcissas representa-se $d$). Mas quanto maior for a distância percorrida, menor é a altura $h$; no cimo da rampa – $h$ máximo – a energia mecânica é máxima; na base da rampa, $h = 0$, a energia mecânica é mínima, mas diferente de zero, pois há energia cinética.
A função $E_m(h)$ é representada pelo gráfico B (no eixo das abcissas representa-se $h$).

**76.**

**76.1** Força gravítica.

**76.2 a)** Pela conservação da energia mecânica: $\frac{1}{2} m v^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 0{,}70} = 3{,}7$ m s$^{-1}$.

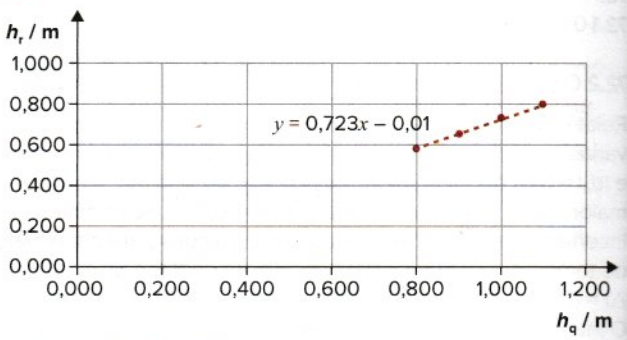
**b)** Pela equação da reta de ajuste, tem-se: $h_r = 0{,}651\, h_q + 0{,}032 = 49 \times 10^{-2}$ m $= 49$ cm.

**c)** Designando por $v'$ o módulo da velocidade imediatamente após o embate, a conservação da energia mecânica permite escrever $mgh_r = \frac{1}{2} m v'^2 \Rightarrow v' = \sqrt{2gh_r} = \sqrt{2 \times 10 \times 0{,}49} = 3{,}1$ m s$^{-1}$.

**76.3** Em geral, a reta de ajuste passa pela origem (a equação da reta de ajuste indicada no gráfico tem ordenada na origem pequena (decorrente de erros experimentais), a qual pode ser desprezada), ou seja, é do tipo $h_r = \eta h_q$, em que $\eta$ é o declive da reta. A fração da energia mecânica após cada colisão, $E_f$, em relação à que tinha antes, $E_i$, é $\frac{E_f}{E_i} = \frac{mgh_r}{mgh_q} = \frac{h_r}{h_q} = \eta$ é o declive da reta; neste caso, é 0,651, ou 65,1%.
A fração de energia dissipada é $1 - 0{,}651 = 0{,}349$, ou, em percentagem, 34,9%. Note-se que a fração de energia dissipada é dada por $\frac{E_i - E_f}{E_i} = \frac{mgh_q - mgh_r}{mgh_q} = 1 - \frac{h_r}{h_q}$.

**77.**

**77.1**




Equação da reta de ajuste: $h_r = 0{,}723\, h_q - 0{,}01$

**a)** Altura de ressalto: $h_r = 0{,}727$ cm.

**b)** Altura de ressalto: $h_r = 0{,}655$ cm. Pela conservação da energia mecânica, vem $\frac{1}{2} m v'^2 = mgh_r \Rightarrow v' = \sqrt{2gh_r} = \sqrt{2 \times 10 \times 0{,}655} = 3{,}6$ m s$^{-1}$.

**c)** Percentagem da energia mecânica que se mantém após a colisão:
$\frac{E_f}{E_i} \times 100\,(\%) = \frac{mgh_r}{mgh_q} \times 100\,(\%) = \frac{h_r}{h_q} \times 100\,(\%) = 0{,}723 \times 100\,(\%) = 72{,}3\%$
Percentagem de energia dissipada: 100% – 72,3% = 27,7%.

**77.2 a)** Quanto menor for a energia dissipada, mais alto ressaltará a bola e maior será a elasticidade do par de materiais em colisão. Na situação I, é menor a energia dissipada na colisão, uma vez que o declive da reta, $\frac{h_r}{h_q}$, que é igual à fração de energia mecânica que permanece (ou seja, não é dissipada), é maior.

**b)** (A). As retas passam pela origem e, para um mesmo $h_q$, o $h_r$ deve ser menor na situação II (maior energia dissipada).

**78.**

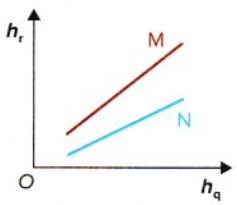
**78.1** A fração de energia mecânica que se mantém após cada colisão é $\frac{E'_m}{E_m} = \frac{mgh_r}{mgh_q} = \frac{h_r}{h_q} = \frac{0{,}82}{1{,}20} = 0{,}683$. Então, $a = 0{,}683 \times 0{,}82 = 0{,}56$ m; $b = 0{,}683 \times 0{,}56 = 0{,}38$ m e $c = 0{,}683 \times 0{,}38 = 0{,}26$ m.

**78.2** Conservação da energia mecânica na queda: $\frac{1}{2}mv^2 = mgh_q \Leftrightarrow v^2 = 2gh_q$, onde $v$ é o módulo da velocidade à chegada ao solo.
Conservação da energia mecânica no ressalto: $\frac{1}{2}mv'^2 = mgh_r \Leftrightarrow v'^2 = mgh_r$, onde $v'$ é o módulo da velocidade, logo após a colisão. Dividindo ambas as equações, membro a membro, obtemos $\frac{v'^2}{v^2} = \frac{h_r}{h_q}$, que é a fração de energia mecânica que se mantém após a colisão com o solo.

**79.**

**79.1** (D). Das figuras, conclui-se que a elasticidade dos materiais em colisão é maior na colisão com M do que com N, pois, no primeiro ressalto, é atingida uma maior altura. Logo, a energia cinética, após a primeira colisão, é maior para M.

**79.2** As retas passam pela origem e, para um mesmo $h_q$, o $h_r$ tem de ser maior no caso da superfície M (maior elasticidade).




**79.3 a)** Como há dissipação de 40% da energia mecânica em cada colisão, a razão das energias mecânicas, após e antes da colisão, é $\frac{E'_m}{E_m} = \frac{mgh_r}{mgh_q} = \frac{h_r}{h_q} = 0{,}60$. A altura de ressalto será 0,60 m.

**b)** 0,60

**c)** Conservação da energia mecânica na queda: $\frac{1}{2}mv_q^2 = mgh_q \Leftrightarrow v_q^2 = 2gh_q$. Conservação da energia mecânica no ressalto: $\frac{1}{2}mv_r^2 = mgh_r \Leftrightarrow v_r^2 = mgh_r$.
Então, $\frac{v_q}{v_r} = \sqrt{\frac{h_q}{h_r}} = \sqrt{\frac{1}{0{,}60}} = \sqrt{\frac{100}{60}} = \sqrt{\frac{5}{3}}$.

## Questões globais PÁG. 20

### Grupo I

**1.**

**1.1** (B). Na queda $W_{\vec{P}} = mgd$, em que $d$ é o desnível entre as posições inicial e final, neste caso, em metros, $d = 0{,}88 - 0{,}22$.

**1.2** (D). Variação percentual da energia potencial gravítica: $\frac{mg(0{,}22 - 0{,}88)}{mg \times 0{,}88} \times 100\ (\%) = -75\%$, ou seja, a energia potencial gravítica diminuiu 75%.

**1.3** (B). O módulo da velocidade da bola quando chega ao solo é obtida a partir da conservação da energia mecânica: $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$, donde $v = \sqrt{2gh}$, que é independente da massa, ou seja, $v_{II} = v_I$. A energia cinética depende da massa e, para o triplo da massa e a mesma velocidade, $E_{cII} = E_{cI}$.

**2.** (C). O trabalho do peso é o mesmo, pois é uma força conservativa: $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p$. Por outro lado, sendo a única força a atuar, $W_{\vec{P}} = \Delta E_c$, e a variação de energia cinética também é a mesma.

**3.**

**3.1** (C). Na subida, $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p = -mgd$, sendo $W_{\vec{P}}(d)$ uma função linear e decrescente com ordenada na origem nula. O declive da reta é o simétrico da intensidade do peso: $-mg = -0{,}0500 \times 10 = -0{,}50$ N.

**3.2** $\Delta E_c = W \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv^2 = Pd\cos 180° - Fd\cos 0°$
$\Leftrightarrow (0{,}60 - 0{,}500) \times 0{,}88 = \frac{1}{2} \times 0{,}0500 \times v^2 - 0 \Leftrightarrow v = 1{,}9\ \text{m s}^{-1}$.

**3.3** Como a velocidade do corpo aumenta, a resultante das forças aponta no sentido do movimento, logo, de $\Delta E_c = W$, obtém-se $\Delta E_c = F_R\, d\cos 0° \Leftrightarrow \Delta E_c = F_R\, d$, pelo que a intensidade da resultante das forças é igual ao declive da reta. Neste caso, $F_R = F - P = 0{,}10$ N.

**3.4** (A). A energia mecânica aumenta devido ao trabalho da força aplicada de intensidade $F$, não conservativa: $\Delta E_m = Fd\cos 0°$. Como a energia mecânica inicial é nula, vem $E_m = Fd$, ou seja, é diretamente proporcional à distância percorrida, $d$. O declive da reta é 0,60 N.

### Grupo II

**1.**

**1.1** (C). Conservação da energia mecânica entre A e B: $mgh = mg\frac{1}{3}h + \frac{1}{2}mv_B^2 \Leftrightarrow \frac{1}{2}v_B^2 = g\frac{2}{3}h \Leftrightarrow v_B = \sqrt{\frac{4gh}{3}}$.

**1.2** (A). De B para C só atua o peso:
$\Delta E_c = W_{\vec{P}} = -\Delta E_p = -\left(0 - mg\frac{1}{3}h\right) = mg\frac{1}{3}h$.

**2.**

**2.1** Média dos valores para o ressalto de A:
$\frac{62{,}20 + 62{,}30 + 62{,}40}{3} = 62{,}30$ cm, pelo que $h_{rA} = (62{,}30 \pm 0{,}10)$ cm, pois $|d_{máx\,A}| = 0{,}10$ cm é o maior dos desvios em módulo.

Média dos valores para o ressalto de B:
$\frac{65{,}40 + 64{,}50 + 65{,}10}{3} = 65{,}00$ cm, pelo que $h_{rB} = (65{,}00 \pm 0{,}50)$ cm, pois $|d_{máx\,B}| = 0{,}50$ cm é o maior dos desvios em módulo.

**2.2** Incerteza relativa percentual para A:
$\frac{|d_{máx\,A}|}{h_{rA}} \times 100\ (\%) = 0{,}16\%$
Incerteza relativa percentual para B:
$\frac{|d_{máx\,B}|}{h_{rB}} \times 100\ (\%) = 0{,}77\%$
As medidas de A são mais precisas, pois é menor a incerteza relativa percentual.

**2.3** Para o mesmo $h_q$, o $h_r$ maior é para a bola B. O declive da reta é $\frac{h_r}{h_q}$, pelo que a reta de maior declive é a B.

**3.**

**3.1** (A). O trabalho é positivo (posição inicial a nível superior ao da posição final) e é dado por $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p = -(mgh_f - mgh_i) = 10\ m(h_i - h_f) = 10\ \text{m}\ (0{,}90 - 0{,}63)$.

**3.2** Conservação de energia mecânica no primeiro ressalto:
$\frac{1}{2} m v^2 = mg \times 0{,}63 \Rightarrow v = \sqrt{2 \times 10 \times 0{,}63} = 3{,}5 \text{ m s}^{-1}$

**3.3** A fração de energia mecânica que se mantém após cada colisão é $\frac{E'_m}{E_m} = \frac{mgh_r}{mgh_q} = \frac{h_r}{h_q} = \frac{63}{90} = 0{,}70$. O valor de $x$ corresponde ao segundo ressalto, para o qual $h_q = 63$ cm, logo $x = h_r = 0{,}70 \times 63 = 44$ cm. A fração de energia dissipada é 30%.

## Grupo III

**1.** (C). A posição C está a um nível mais elevado do que A, logo $\Delta E_p > 0$. Como há conservação de energia mecânica entre A e C, $\Delta E_c = -\Delta E_p < 0$.

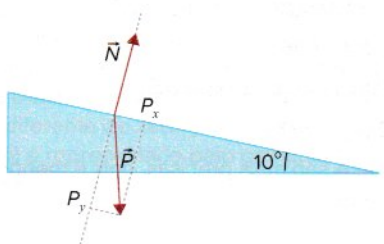
**2.** Conservação da energia mecânica entre A e B:
$\frac{1}{2} m v_A^2 = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B \Leftrightarrow v_A^2 = v_B^2 + 2gh_B$
$\Rightarrow v_A = \sqrt{12^2 + 2 \times 10 \times 4{,}0} = 15 \text{ m s}^{-1}$.

**3.**

**3.1** (C). Na descida da rampa a velocidade aumenta; pelo Teorema da Energia Cinética, sabe-se que $\Delta E_c = W \Leftrightarrow$
$\Leftrightarrow \Delta E_c = F_R\, d \cos 0^\circ \Leftrightarrow \Delta E_c = F_R\, d$, ou seja, a variação de energia cinética é diretamente proporcional à distância percorrida $d$, por isso, o gráfico $\Delta E_c\ (d)$ é uma reta com declive positivo. Para o gráfico $E_c\ (d)$, tem-se $E_c - E_{ci} = F_R\, d \Leftrightarrow$
$\Leftrightarrow E_c = E_{ci} + F_R\, d$ (reta com ordenada na origem $E_{ci}$ e declive $F_R$).
A energia potencial gravítica diminui quando o corpo desce, por isso, $\Delta E_p = -mgh$, sendo $h$ o desnível entre as posições final e inicial. Mas, $h = d \sin 10^\circ$, logo, $\Delta E_p = -mg \sin 10^\circ\, d$. Então, a variação de energia potencial gravítica é diretamente proporcional à distância percorrida $d$, por isso, o gráfico $\Delta E_p\ (d)$ é uma reta com declive negativo. Para o gráfico $E_p\ (d)$, tem-se $E_p - E_{pi} = -mg \sin 10^\circ\, d \Leftrightarrow E_p = E_{pi} - mg \sin 10^\circ\, d$ (reta com ordenada na origem igual a $E_{pi}$ e declive $-mg \sin 10^\circ$.
Os gráficos A e C são retas, mas, como há conservação da energia mecânica, a soma das energias cinética e potencial gravítica, em cada ponto, é constante, por isso, só pode ser o gráfico C.

**3.2** $W = \Delta E_c = -\Delta E_p = -mg(1{,}5 - 4{,}0) = 60 \times 10 \times 2{,}5 = 1{,}5 \times 10^3$ J.

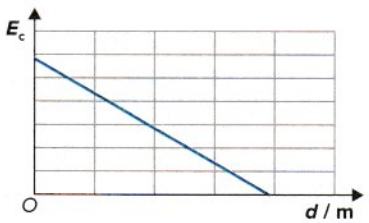
**3.3** (A)




$P_x = P \sin 10^\circ$, $N = P_y = P \cos 10^\circ$.

**4.**

**4.1** O peso e a força normal realizam trabalho nulo, pois são forças perpendiculares ao deslocamento. Então, a variação da energia cinética é $\Delta E_c = W_{\vec{F}_a} = F_a\, d \cos 180^\circ$, logo $E_{cf} - E_{ci} = -F_a\, d \Leftrightarrow E_{cf} = E_{ci} - F_a\, d$: reta com ordenada na origem igual à energia cinética inicial, $E_{ci}$, e declive igual ao simétrico da intensidade da força de atrito, $-F_a$.




**4.2** Designado por $v$ o módulo da velocidade em C, em D o módulo da velocidade é $\frac{v}{2}$. A energia dissipada é
$W = \Delta E_m = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \left(\frac{v}{2}\right)^2 - \frac{1}{2} m v^2 = -\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} m v^2 =$
$= -0{,}75 \times \frac{1}{2} m v^2 = -0{,}75\, E_{ci}$, ou seja, quando o corpo passa por D já perdeu 75% da energia mecânica que tinha em C.

## Grupo IV

**1.**

**1.1** (C). Como há uma força dissipativa, a energia mecânica diminui, logo a sua variação é negativa. Como a velocidade aumenta, a variação de energia cinética é positiva, por isso, o trabalho da resultante das forças é positivo, o que significa que a resultante das forças aponta para baixo, logo o peso tem maior intensidade do que a força de resistência do ar. Por isso, $F_g\, d > F_{ar}\, d$.

**1.2** Se não houvesse resistência do ar, a velocidade com que chegaria ao solo seria obtida a partir da conservação da energia mecânica: $\frac{1}{2} m v^2 = mgh \Leftrightarrow v = \sqrt{2gh} \Rightarrow v = \sqrt{40} = 6{,}3 \text{ m s}^{-1}$
Como a velocidade real é 5,0 m s$^{-1}$, a diferença de energias cinéticas corresponde à energia dissipada:
$E_{dissipada} = \frac{1}{2} 4{,}2 \times 10^{-3} (6{,}3^2 - 5{,}0^2) = 3{,}1 \times 10^{-2}$ J.

**1.3** Nesse intervalo de tempo não há variação de velocidade. De acordo com o Teorema da Energia Cinética, $W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}_{ar}} =$
$= \Delta E_c = 0$, logo $W_{\vec{F}} = -W_{\vec{P}}$. Como o trabalho de $\vec{F}_g$ é simétrico do de $\vec{F}_{ar}$, as intensidades destas forças são iguais nesse intervalo de tempo: $F_{ar} = F_g$.

**2.** Supera a velocidade do som entre os instantes $t_1 = 34$ s e $t_2 = 64$ s, como se lê do primeiro gráfico. Nesse intervalo de tempo, a velocidade varia de 310 m s$^{-1}$ para 290 m s$^{-1}$, por isso, a variação de energia cinética é $\Delta E_c = \frac{1}{2} m (290^2 - 310^2) =$
$= -6{,}00 \times 10^3\, m$, ou seja, a energia cinética diminuiu $6{,}00 \times 10^3\, m$.
Do segundo gráfico, obtém-se as posições de FB nesses instantes: $h_1 = 33{,}5$ km e $h_2 = 23{,}0$ km. A variação de energia potencial é $\Delta E_p = mg(h_2 - h_1) = m \times 10 \times (23{,}0 - 33{,}5) \times 10^3 =$
$= -1{,}05 \times 10^5\, m$, ou seja, a energia potencial gravítica diminuiu $1{,}05 \times 10^5\, m$.
A razão $\frac{1{,}05 \times 10^5\, m}{6{,}00 \times 10^3\, m} = 1{,}75 \times 10^1$ indica que a diminuição da energia potencial gravítica é uma ordem de grandeza maior do que a diminuição da energia cinética.

## 1.2 Energia e fenómenos elétricos

### 1.2.1 e 1.2.2 Energia e correntes elétricas. Grandezas elétricas: diferença de potencial elétrico e corrente elétrica. Corrente contínua e corrente alternada PÁG. 29

**1.** (C). Num condutor metálico são os eletrões (e não protões ou iões) os responsáveis pelo estabelecimento de corrente elétrica.

**2.** (A). Nos materiais metálicos a corrente elétrica é devida ao movimento orientado de eletrões.

**3.** (B). Recorde-se que $U = \frac{E}{Q}$.

**4.** (D). A diferença de potencial de um gerador é a energia por ele transferida para o circuito, através do trabalho das forças elétricas, por unidade de carga: $U = \frac{E}{Q}$.

**5.**
**5.1** Voltímetro
Alcance: 16 V (máximo apresentado no mostrador)
Medida: $U = (6{,}0 \pm 0{,}2)$ V (a menor divisão vale 0,4 V e a incerteza é metade deste valor)

**5.2** Como $E = UQ$, para $Q = 1$ C e $U = 6$ V, resulta $E = 6$ J.

**6.** Gerador de corrente contínua: fornece uma diferença de potencial praticamente constante. Exemplos: pilhas e baterias. Também os habituais carregadores de telemóveis fornecem a esses aparelhos uma corrente contínua.

**7.**
**7.1** Símbolo da grandeza: $I$.

**7.2** Nome da unidade: ampere;
Símbolo da unidade: A.

**7.3** Amperímetro.

**8.** (D). Recorde-se que $I = \frac{Q}{\Delta t}$. Na hipótese (D), a corrente é de 1 A < 10 A. Em todos os outros casos, as correntes elétricas são superiores a 10 A.

**9.** O que sai do polo positivo do gerador.

**10.** Alcance do amperímetro I: 40 A;
Resultado da medida: $I = (33{,}0 \pm 0{,}5)$ A;
Alcance do amperímetro II: 40 A;
Resultado da medida: $I = (26{,}00 \pm 1{,}25)$ A.

**11.**
**11.1** A – corrente alternada.

**11.2** B – corrente contínua.

**11.3** A – em Portugal e em todo o mundo a corrente elétrica fornecida para consumo doméstico é alternada.

**11.4** B.

**11.5** B.

**12.** (B). $I_I = 10$ A e $I_{II} = 0{,}500$ A. Como $Q_I = I_I\ \Delta t$ e $Q_{II} = I_{II}\ \Delta t$, vem $\frac{Q_{II}}{Q_I} = \frac{I_{II}}{I_I} = \frac{0{,}500}{10} = \frac{1}{20}$, logo $Q_{II} = \frac{1}{20}\ Q_I$.

### 1.2.3 Grandezas elétricas: resistência elétrica de um condutor PÁG. 30

**13.**
**13.1** Ohmímetro.

**13.2** Resistência elétrica; $R = (10{,}00 \pm 0{,}01) \times 10^3\ \Omega$.

**13.3** (D). A resistência elétrica de um condutor depende do material (caracterizado pela grandeza resistividade, a qual depende da temperatura) e de fatores geométricos.

**14.**
**14.1** Borracha ou silício a baixa temperatura.

**14.2** Cobre.

**14.3** Silício (ou germânio).

**14.4** Constantan (ou manganina).

**14.5** Constantan (ou manganina) – pois quase não há variação da resistividade destes materiais quando há variações de temperatura.

**15.**
**15.1** (C). Verifica-se que a função $I(U)$ é uma reta que passa pela origem, portanto $I$ e $U$ são diretamente proporcionais. Como $R = \frac{U}{I} \Leftrightarrow I = \frac{U}{R}$, a resistência elétrica, $R$, é dada pelo inverso do declive dessa reta.

**15.2** A resistência do condutor tem sempre o mesmo valor, qualquer que seja a diferença de potencial aplicada e é dada por $R = \frac{U}{I} = \frac{10{,}0}{0{,}500} = 20{,}0\ \Omega$.

**15.3** Pode ser usado, pois o seu alcance (20 V) é superior à máxima diferença de potencial que o gerador pode fornecer (12 V).

**15.4 a)** $I = 80$ mA $= 0{,}080$ A e, como $Q = I\ \Delta t$, em 1 s passa a carga $Q = 0{,}080 \times 1 = 0{,}080$ C.

**b)** $U = RI = 20 \times 0{,}080 = 1{,}6$ V.

**16.** A variação percentual da resistividade é:
$\frac{\rho(3000) - \rho(500)}{\rho(500)} \times 100\ (\%) = \frac{(100 - 20) \times 10^{-8}}{20 \times 10^{-9}} \times 100\ (\%) = 400\%$
Como a resistência elétrica e a resistividade são diretamente proporcionais (se as características geométricas do filamento não se alterarem), também o aumento percentual da resistência elétrica é de 400% (passa a ser cinco vezes maior).

## 1.2.4 Energia transferida para um componente de um circuito elétrico. Efeito Joule PÁG. 32

**17.**

**17.1** Potência total: $P = 1000 + 500 + 4 \times 40 = 1660$ W = 1,660 kW
Como os dispositivos estão ligados $\Delta t = 2{,}25$ h. O consumo energético é $E = P\Delta t = 1{,}660 \times 2{,}25$ kW h = 3,74 kW h.

**17.2** Como $P = UI$, vem $I = \frac{P}{U} = \frac{1660}{230} = 7{,}22$ A.

**18.** A potência dissipada no forno é
$P = UI = 230 \times 10 = 2{,}3 \times 10^3$ W e o consumo energético do forno é $E = P\Delta t = 2{,}3 \times 10^3 \times 4{,}0 \times 60 = 5{,}52 \times 10^5$ J. Para a lâmpada: $5{,}52 \times 10^5 = 40\ \Delta t' \Rightarrow \Delta t' = 13\,800$ s = 3,8 h.

**19.**

**19.1** São de resistência constante os condutores B e C, cujos gráficos são retas e as suas resistências elétricas são dadas pelos declives das retas. Portanto, $R_C < R_B$.

**19.2** A resistência elétrica é $R = \frac{U}{I}$. Para $I < 400$ mA, e para igual corrente, a diferença de potencial elétrico em A é sempre superior à diferença de potencial elétrico em B, ou seja, $U_A > U_B$. Da definição de resistência, conclui-se que $R_A > R_B$.

**19.3** Usemos um ponto de boa legibilidade no gráfico para determinar primeiro a resistência elétrica de C. Por exemplo, para $I = 0{,}600$ A, obtém-se $R_C = \frac{2{,}0}{0{,}600} = 3{,}33\ \Omega$. A potência dissipada é $P = R_C I^2 = 3{,}33 \times 0{,}250^2 = 0{,}208$ W. A energia dissipada é $E = P\Delta t = 0{,}208 \times 2{,}0 \times 60 = 25$ J.

**19.4** A potência dissipada pode ser diretamente calculada a partir de $P = UI$, mas, a leitura da corrente no gráfico, não é muito precisa. No entanto, podemos escolher um ponto com boa legibilidade no gráfico, por exemplo, para $I = 0{,}400$ A, para obter a resistência elétrica de B: $R_B = \frac{2{,}5}{0{,}400} = 6{,}25\ \Omega$.
Como $U = RI$, a potência dissipada pode ser calculada a partir de $P = UI = \frac{U^2}{R} = \frac{1{,}0}{6{,}25} = 0{,}16$ W.

**20.**

**20.1** Efeito Joule (efeito térmico da corrente).

**20.2 a)** Usando $P = UI$, e substituindo valores, $I = \frac{P}{U} = \frac{500}{230} = 2{,}17$A.
Quanto à resistência elétrica, $R = \frac{U}{I} = \frac{230}{2{,}17} = 106\ \Omega$.

**b)** $E = P \times \Delta t = 500 \times 30 \times 60 = 9{,}0 \times 10^5$ J.

**c)** Podemos trabalhar em quilowatts (potência) e em horas (tempo):
$E = 1{,}5$ kW h e, de $P = \frac{E}{\Delta t}$, obtém-se $\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{1{,}5}{0{,}500} = 3{,}0$ h.

**20.3** A resistência elétrica é uma característica do aquecedor e vai ser a mesma no novo país. De $R = \frac{U}{I}$ ou $I = \frac{U}{R}$, se a diferença de potencial $U$ passa a metade, a corrente $I$ também passa a metade. Como $P = UI$, tendo $I$ passado para metade e $U$ também para metade, a potência passa para um quarto.
OU:
Quando varia $U$, também $I$ varia, só a resistência $R$ se mantém. Por isso, deve obter-se uma expressão de $P$ em função de $U$ e de $R$: $P = UI = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$. Se $U$ passa para metade, $U^2$ passa para um quarto e, portanto, a potência $P$ passa para um quarto.

**21.** (C). A diferença de potencial é a mesma nos dois casos: $P = UI \Leftrightarrow U = \frac{P}{I}$ = constante, pelo que $P$ e $I$ são diretamente proporcionais. Se, para B, a potência $P$ se reduz a um terço, também $I$ se reduz a um terço: $I_B = \frac{I}{3}$. Por outro lado, como $U = RI$ e a diferença de potencial é a mesma, $R$ e $I$ são inversamente proporcionais. Se, para B, $I$ se reduz a um terço, é porque a sua resistência é três vezes maior do que a de A: $R_B = 3R$.

**22.**

**22.1** (A). Se disponibiliza a mesma energia no mesmo intervalo de tempo, é porque as potências são iguais: para M, $P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{R}$; para N, $P = \frac{110^2}{R_N}$. Igualando as duas potências $\frac{4}{R} = \frac{1}{R_N}$ e, então, $R_N = \frac{R}{4}$.

**22.2** Se $P_N = 2P_M$, de $P_M = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{R_M}$ e $P_N = \frac{110^2}{R_N}$, resulta $\frac{110^2}{R_N} = 2 \times \frac{220^2}{R_M}$, de onde se conclui que $R_N = \frac{R_M}{8}$. Portanto, $\frac{R_M}{R_N} = 8$.

**23.**

**23.1** Como $P = UI$, para $U$ constante, a potência é diretamente proporcional à corrente – gráfico C (o declive da reta é igual à diferença de potencial $U$).

**23.2** Como $P = \frac{U^2}{R}$ ou $PR = U^2$, para $U$ constante, a potência e a resistência são inversamente proporcionais – gráfico A.

**24.** Para uma dada corrente, $I$, a potência é dada por $P = RI^2$, em que $R$ é a resistência elétrica. Se esta varia, mantendo-se a corrente, também a potência varia, sendo essa variação dada por $\Delta P = \Delta R\, I^2$, onde $\Delta R$ é a variação da resistência.
A variação de resistência é $\frac{\Delta R}{3{,}85} = \frac{\Delta T}{10} \Leftrightarrow \frac{\Delta R}{3{,}85} = \frac{27{,}9 - 5{,}2}{10}$
$\Leftrightarrow \Delta R = 8{,}74\ \Omega$. Portanto, $\Delta P = 8{,}74 \times (9{,}0 \times 10^{-4})^2 = 7{,}1 \times 10^{-6}$ W, valor inferior a $10^{-5}$ W.

**25.**

**25.1** Os valores das resistências são $R(300) = 0{,}40\ \Omega$ e $R(275) = 0{,}375\ \Omega$.
Variação percentual da resistência:
$\frac{R}{R(300)} \times 100\ (\%) = \frac{0{,}375 - 0{,}40}{0{,}40} \times 100\ (\%) = -6{,}3\%$. Diminuiu 6,3%.

**25.2** A potência dissipada é:
$P = RI^2 \Leftrightarrow P = 0{,}40 \times (1{,}0 \times 10^3)^2 = 4{,}0 \times 10^5$ W = $4{,}0 \times 10^2$ kW
Energia dissipada numa hora:
$E = P\Delta t = 4{,}0 \times 10^2 \times 1 = 4{,}0 \times 10^2$ kW h

**25.3** Lê-se no gráfico que a 100 K a resistência é 0,10 Ω, ou seja, é quatro vezes menor do que a 300 K. Para a mesma potência dissipada, $P = R'I'^2 = RI^2 \Leftrightarrow 0{,}10\, I'^2 = 0{,}40 \times I^2$
$\Leftrightarrow I' = 2I = 2{,}0$ kA. (OU: se a potência é a mesma e a resistência diminuiu 4 vezes, então o quadrado da corrente tem de aumentar 4 vezes, ou seja, a corrente tem de aumentar para o dobro: 2,0 kA).

**25.4** Da leitura do gráfico, a resistência é nula para temperaturas inferiores a cerca de 60 K.

**26.** (A). Energia dissipada em A: $E_A = \frac{U_A^2}{R}\,\Delta t$
Energia dissipada em B: $E_B = \frac{U_B^2}{R_B}\,\Delta t$
Como $E_B = \frac{1}{2}E_A$, combinando as duas expressões $\frac{U_B^2}{R_B} = \frac{U_A^2}{2R}$, ou $2\,\frac{(2U_A)^2}{R_B} = \frac{U_A^2}{R} \Rightarrow R_B = 2 \times 4R = 8R$.

**27.**
**27.1** Como $P = UI = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$ ou $P = U^2\,\frac{1}{R}$, e a potência é mínima quando a resistência é máxima, pois a diferença de potencial é constante.

**27.2** O declive da reta é $U^2$, ou seja, o quadrado da diferença de potencial elétrico; 100 $V^2$.

**28.** O ecrã é de LED e, nos LED, o efeito térmico da corrente (efeito Joule) é muitíssimo baixo, ou seja, há muito pouco aquecimento do componente elétrico, ou seja, é 100 $V^2$.

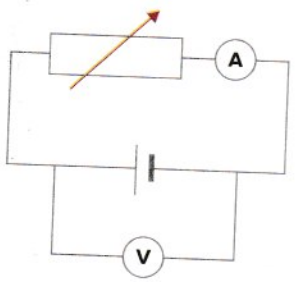
## 1.2.5 Características de um gerador de tensão contínua. Balanço energético num circuito PÁG. 34

**29.**
**29.1** $U = (0{,}97 \pm 0{,}01)$ V.

**29.2** A diferença de potencial é a energia transferida para o circuito por unidade de carga que o percorre: $U = \frac{E}{Q}$. Logo, é transferido para o fio 0,97 J, quando é percorrido por uma carga de 1 C.

**29.3** Corrente contínua.

**30.**
**30.1**




**30.2** A expressão geral da curva característica é $U = \varepsilon - rI$, em que $r$ (resistência interna) é o módulo do declive da reta e $\varepsilon$ é a ordenada na origem (força eletromotriz). O módulo do declive é $r = \frac{24}{12{,}0} = 2{,}0\ \Omega$ e $\varepsilon = 24$ V.

**30.3** A corrente máxima obtém-se da leitura do gráfico e é 12,0 A. Esta corrente corresponde a $U = 0$ V e chama-se corrente de curto-circuito.

**30.4** Vê-se no gráfico que, à medida que a corrente aumenta (quando a resistência variável indicada na figura em 30.1 diminui) a diferença de potencial diminui. Quando a diferença de potencial atinge o valor mínimo ($U = 0$) a corrente é máxima e a equação da reta é $U = \varepsilon - rI$. Escreve-se $0 = \varepsilon - rI_{máx}$, donde $I_{máx} = \frac{\varepsilon}{r}$.

**30.5** A equação da curva característica é $U(I) = 24 - 2{,}0I$. Portanto, $U(0{,}500) = 24 - 2{,}0 \times 0{,}500 = 23$ V.

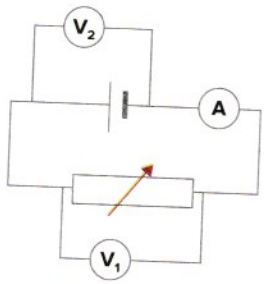
**31.**
**31.1 a)** A energia dissipada é:
$E = rI^2\Delta t = 1{,}00 \times 0{,}850^2 \times 5{,}0 \times 60 = 2{,}2 \times 10^2$ J.

**b)** A equação da curva característica é $U(I) = \varepsilon - rI$
$\Rightarrow U(I) = 9{,}00 - 1{,}0I$. A diferença de potencial nos seus terminais é $U(0{,}850) = 9{,}00 - 0{,}850 = 8{,}15$ V e a potência útil disponibilizada é $P = UI = 8{,}15 \times 0{,}850 = 6{,}93$ W.

**c)** A diferença de potencial nos terminais da resistência é igual à diferença de potencial nos terminais da bateria. Da lei de Ohm, $U = RI$, obtém-se $R = \frac{8{,}15}{0{,}850} = 9{,}59\ \Omega$.

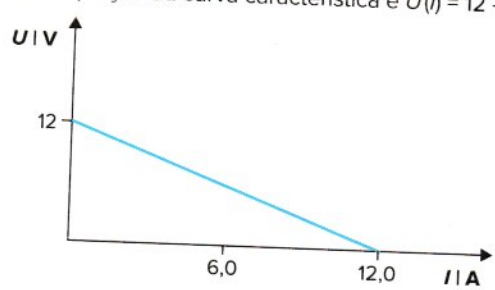
**31.2** Com o cursor no ponto O, a resistência do reóstato é nula e $U = RI = 0$. A pilha fica em curto-circuito (entre os seus terminais não há praticamente resistência, pelo que a corrente é máxima). Como a diferença de potencial nos terminais da resistência é igual à diferença de potencial nos terminais da pilha, então $U(I) = 9{,}00 - 1{,}00I = 0 \Leftrightarrow I = 9{,}00$ A (é a chamada corrente de curto-circuito).

**32.**
**32.1**




**32.2** Como $U = RI$, tem-se $U_I = 11{,}0 \times 1{,}0 = 11$ V e $U_{II} = 5{,}0 \times 2{,}0 = 10$ V. Os voltímetros marcam igual valor em cada situação, pois os terminais do gerador são os terminais da caixa de resistências (supondo os aparelhos de medida ideais).

**32.3** De $U = \varepsilon - rI$, vem $11 = \varepsilon - r \times 1{,}0$ e $10 = \varepsilon - r \times 2{,}0$. Resolvendo o sistema de equações, encontra-se $\varepsilon = 12$ V e $r = 1{,}0\ \Omega$. A equação da curva característica é $U(I) = 12 - 1{,}0I$.




**32.4** A potência dissipada na caixa de resistências é $P = RI^2$. Assim, $P_I = 11{,}0 \times 1{,}0^2 = 11$ W e $P_{II} = 5{,}0 \times 2{,}0^2 = 20$ W. A maior potência dissipada ocorre na situação II.

**33.** A palha-de-aço é um material condutor. Por efeito da passagem de corrente, e porque a resistência da palha-de-aço é muito pequena, a corrente no circuito é elevada (a pilha fica praticamente em curto-circuito). A grande energia dissipada na palha-de-aço faz elevar a sua temperatura, o que é suficiente para ela entrar em combustão.

**34.**

**34.1** Na figura, o voltímetro mede a força eletromotriz da pilha. A equação característica da pilha é $U = \varepsilon - rI$. Quando se liga diretamente a pilha ao voltímetro, como este tem uma resistência muito grande, a corrente $I$ é muito pequena (praticamente nula) e, além disso, normalmente a resistência interna da pilha também é pequena, por isso $U \approx \varepsilon$. Se a pilha estiver ligada num circuito, a corrente pode não ser próxima de zero e não se pode fazer esta aproximação.

**34.2** $\varepsilon = (1{,}26 \pm 0{,}01)$ V.

**34.3 a)** $R = \frac{U}{I} = \frac{1{,}15}{0{,}200} = 5{,}75\ \Omega$.

**b)** Potência dissipada na lâmpada:
$P = UI = 1{,}15 \times 0{,}200 = 0{,}230$ W.

**c)** Como a diferença de potencial nos terminais da lâmpada é igual à diferença de potencial nos terminais da pilha, então:
$U = \varepsilon - rI \Leftrightarrow 1{,}15 = 1{,}26 - 0{,}200r \Leftrightarrow r = 0{,}550\ \Omega$.

**d)** Se a pilha fosse ideal, $U = \varepsilon$, e assim disponibilizaria
$P' = \varepsilon I = 1{,}26 \times 0{,}200 = 0{,}252$ W.
A potência útil disponibilizada pela pilha é igual à potência da lâmpada:
$P = UI = 1{,}15 \times 0{,}200 = 0{,}230$ W.
O rendimento da pilha é:
$\frac{P}{P'} \times 100\ (\%) = \frac{0{,}230}{0{,}252} \times 100\ (\%) = 91\ \%$.

**35.**

**35.1** O declive da reta é $m = \frac{1{,}0 - 2{,}0}{1{,}0 - 0{,}5} = -2{,}0$. O módulo do declive é igual à resistência interna da pilha. Então, $U(I) = \varepsilon - rI$ ou $U(I) = \varepsilon - 2{,}0I$. Substituindo as coordenadas (1,0; 1,0), obtém-se $1{,}0 = \varepsilon - 2{,}0 \times 1{,}0 \Leftrightarrow \varepsilon = 3{,}0$ V. Portanto, a equação característica da pilha é $U = 3{,}0 - 2{,}0I$.

**35.2** A corrente de curto-circuito corresponde a $U = 0$, ou seja, $I_{máx} = \frac{3{,}0}{2{,}0} = 1{,}5$ A.

**35.3** $E = P\Delta t = rI^2\Delta t = 2{,}0 \times 0{,}800^2 \times 10{,}0 \times 60 = 7{,}7 \times 10^2$ J.

**36.**

**36.1** O gráfico de $U(I)$ permite concluir que a corrente máxima é $I_2 = 10{,}0$ A e, portanto, $I_1 = 5{,}0$ A.

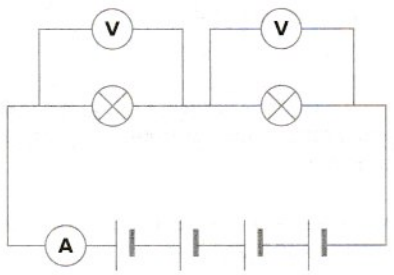
**36.2** A curva característica da pilha é descrita pela equação $U = \varepsilon - rI = \varepsilon - 3{,}0I$, pois o declive da reta é, em módulo, o valor da resistência interna da pilha. Como $U(10) = 0 \Rightarrow 0 = \varepsilon - 3{,}0 \times 10 \Rightarrow \varepsilon = 30$ V. Podemos, então, escrever $U = 30 - 3{,}0I$ e concluir que $U(I_1) = U(5{,}0) = 30 - 3{,}0 \times 5{,}0 = 15$ V.
A potência máxima dissipada (máximo do gráfico $P(I)$) é, pois, $P_{máx} = UI = 15 \times 5{,}0 = 75$ W.

**36.3** $\frac{P}{P'} = \frac{UI}{\varepsilon I} = 0{,}50$, ou, em percentagem, 50%. Significa que 50% da potência é dissipada na resistência interna da pilha.

## 1.2.6 Associações de componentes elétricos em série e em paralelo PÁG. 36

**37.**

**37.1**




**37.2** A potência dissipada é $P = RI^2$. No caso do amperímetro, percorrido pela corrente $I$, como a sua resistência é muito pequena, então $P \approx 0$. No caso do voltímetro ideal, a corrente que o percorre é muito pequena, pelo que também $P \approx 0$.

**37.3 a)** A energia fornecida é $E = P\Delta t = UI\Delta t$. Como as pilhas são consideradas ideais, as suas resistências internas são desprezáveis, então $U \approx \varepsilon$. Substituindo valores, vem: $U = 4 \times 1{,}5 = 6{,}0$ V, $I = 0{,}200$ A e $\Delta t = 3{,}0 \times 60 = 180$ s, encontra-se $E = 6{,}0 \times 0{,}200 \times 180 = 2{,}2 \times 10^2$ J.

**b)** Como as duas lâmpadas são iguais, a diferença de potencial fornecida pelas pilhas, 6,0 V, reparte-se igualmente por cada uma: $U_1 + U_2 = 6{,}0$ V e $U_1 = U_2$. Logo, $U_1 = U_2 = 3{,}0$ V.

**c)** $P_1 = U_1 I = P_2 = 3{,}0 \times 0{,}200 = 0{,}60$ W.

**d)** $R_1 = R_2 = \frac{U_1}{I} = \frac{3{,}0}{0{,}200} = 15\ \Omega$.

**38.**

**38.1.** $U_{II} = (9{,}00 \pm 0{,}25)$ V (a menor divisão é igual a 0,5 V).

**38.2** Para a resistência II: $R_{II} = \frac{U_{II}}{I} = \frac{9{,}00}{1{,}5} = 6{,}0\ \Omega$.

Para a resistência III, podemos usar a expressão:
$P_{III} = R_{III} I^2 \Leftrightarrow R_{III} = \frac{13{,}5}{1{,}5^2} = 6{,}0\ \Omega$.

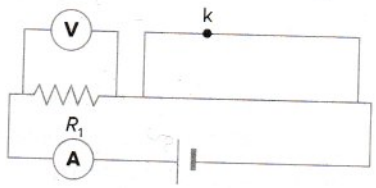
**38.3** A diferença de potencial nos terminais do gerador é $U = U_I + U_{II} + U_{III} = 1{,}5 \times 2{,}0 + 9{,}00 + 6{,}0 \times 1{,}5 = 21$ V. Este valor é superior ao alcance do voltímetro, pelo que este não pode ser ligado aos terminais do gerador.

**38.4** Usando a expressão $U = \varepsilon - rI$, podemos obter o valor da resistência interna: $21 = 22 - 1{,}5r \Leftrightarrow r = 0{,}67\ \Omega$. Portanto, $U(I) = 22 - 0{,}67I$, função que se representa no gráfico seguinte:

A força eletromotriz é a ordenada na origem: $\varepsilon = 22$ V.
A corrente máxima é a abcissa do ponto em que a reta interseta o eixo horizontal, ou seja, $U = 0$:
$0 = 22 - 0{,}67I$, $I_{máx} = 32{,}8$ A $= 33$ A.

**39.**

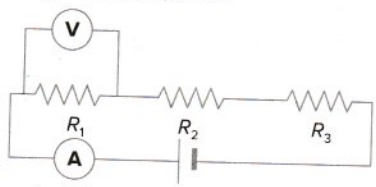
**39.1 a)** Apenas em $R_1$, pois as outras duas resistências ficam em curto-circuito: a corrente passará onde não houver resistência. O esquema de circuito fica o seguinte:




**b)** O valor é igual (têm os mesmos terminais): a diferença de potencial fornecida pelo gerador está totalmente aplicada no condutor de resistência $R_1$.

**c)** Como $U = \varepsilon - rI$, então $U < \varepsilon$. A diferença de potencial fornecida pelo gerador é inferior à sua força eletromotriz e o voltímetro marca a diferença de potencial nos terminais do condutor ($U$), a qual é igual à diferença de potencial nos terminais do gerador. Logo, o voltímetro marca um valor inferior ao da força eletromotriz.

**39.2** O circuito agora é o seguinte:




**a)** A corrente, $I$, é a mesma nos três condutores, pois estão associados em série. Como a corrente é a mesma, a potência é tanto maior quanto maior for a resistência: $P_1 = R_1 I^2$;
$P_2 = R_2 I^2 = \frac{1}{2} R_1 I^2 = \frac{1}{2} P_1$; $P_3 = R_3 I^2 = \frac{1}{3} R_1 I^2 = \frac{1}{3} P_1$.
Portanto, $P_1 > P_2 > P_3$.

**b)** A corrente, $I$, é a mesma, pelo que:
$U_1 = IR_1$
$U_2 = IR_2 = I\frac{R_1}{2} = \frac{U_1}{2}$
$U_3 = IR_3 = I\frac{R_1}{3} = \frac{U_1}{3}$.
Ou seja, $U_1 = 2U_2 = 3U_3$. Então:
$U = U_1 + U_2 + U_3 = \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) U_1 = \frac{11}{6} U_1$.

**40.** (D). Numa associação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma porque os terminais dos componentes são os mesmos. A corrente que passa no gerador divide-se por cada um dos condutores em paralelo, pelo que é maior do que a corrente em qualquer um dos condutores da associação.

**41.**

**41.1** Potência total: $P = 750 + 1250 + 1000 = 3000$ W $= 3{,}000$ kW
Como 15 minutos correspondem a 0,25 h, a energia consumida é $E = 3{,}000 \times 0{,}25 = 0{,}75$ kW h.

**41.2** Como $P = UI$ e a diferença de potencial é a mesma para cada um dos aparelhos, tem-se $I_{secador} = \frac{750}{230} = 3{,}26$ A;
$I_{aquecedor} = \frac{1250}{230} = 5{,}43$ A; $I_{placa} = \frac{1000}{230} = 4{,}35$ A.
A corrente total é a soma destas três correntes: $I = 13{,}0$ A
A corrente total também poderia ser encontrada considerando a potência total: $I = \frac{P}{U} = \frac{3000}{230} = 13{,}0$ A.

**42.** Cada lâmpada é percorrida por uma corrente $I$ tal que $P = UI \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{40}{25} = 1{,}6$ A. A corrente total na fonte de tensão é $I_{total} = nI$, em que $n$ é o número de lâmpadas instaladas em paralelo. De $1{,}6\,n < 10$, obtém-se $n < 6{,}25$. Portanto, o número máximo de lâmpadas é $n_{máx} = 6$.

**43.**

**43.1** Estando as resistências de carvão associadas em paralelo, a diferença de potencial em cada uma delas é 40 V. A corrente em cada uma delas é $I = \frac{U}{R}$. Então, $I_1 = \frac{40}{1{,}0 \times 10^3} = 4{,}0 \times 10^{-2}$ A e $I_2 = \frac{40}{2{,}0 \times 10^3} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ A.
No cálculo das potências dissipadas, podemos usar a expressão $P = UI$, obtendo-se $P_1 = 40 \times 4{,}0 \times 10^{-2} = 1{,}6$ W e $P_2 = 0{,}80$ W.
OU:
Como $P = UI$ e $U = RI$, vem $P = \frac{U^2}{R}$.
Assim, $P_1 = \frac{40^2}{1{,}0 \times 10^3} = 1{,}6$ W e $P_2 = \frac{40^2}{2{,}0 \times 10^3} = 0{,}80$ W.

**43.2** A corrente na fonte de tensão é:
$I = I_1 + I_2 = 6{,}0 \times 10^{-2}$ A $= 60$ mA.

**43.3** A potência útil da fonte é $P_{útil} = UI = 40 \times 6{,}0 \times 10^{-2} = 2{,}4$ W (OU: $P = P_1 + P_2 = 1{,}6 + 0{,}80 = 2{,}4$ W).
A potência útil é 89% da potência total:
$P_{útil} = 0{,}89\, P_{total} \Rightarrow P_{total} = 2{,}7$ W
A potência dissipada é $P_{diss} = P_{total} - P_{útil} = 2{,}7 - 2{,}4 = 0{,}3$ W.
Como $P_{diss} = rI^2$, vem $0{,}3 = r\,(6{,}0 \times 10^{-2})^2 \Leftrightarrow r = 83\ \Omega$.

**44.**

**44.1** Não. A torradeira está preparada para funcionar com uma corrente máxima que se pode obter a partir de $P = UI$, ou seja, $I = \frac{500}{110} = 4{,}55$ A. A resistência da torradeira é $R = \frac{110}{4{,}55} = 24{,}2\ \Omega$ e esta é uma característica desse aparelho que não depende da diferença de potencial que lhe for aplicada. Em Portugal, a corrente na torradeira seria $I = \frac{230}{24{,}2} = 9{,}50$ A e esta corrente não seria suportada pelos fios condutores, que fundiriam.

**44.2** Não, porque ao associar-se em paralelo, a diferença de potencial nos terminais da torradeira continua a ser 230 V.

**44.3** Como as torradeiras são iguais, os 230 V fornecidos na tomada seriam igualmente repartidos por cada torradeira, ficando cada uma sujeita a uma diferença de potencial $\frac{230}{3} = 76{,}7$ V. Esta diferença de potencial é inferior ao valor nominal, pelo que, cada torradeira não funcionaria em condições normais, mas, pelo menos, não se danificaria. Para calcular a potência dissipada em cada torradeira podemos

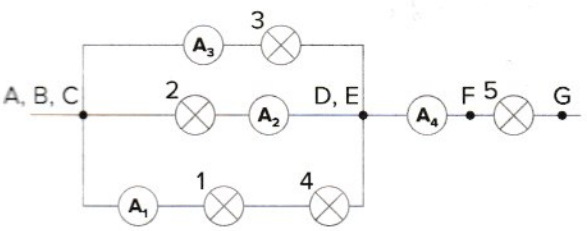
usar a expressão $P = UI = \frac{U^2}{R} = \frac{76{,}7^2}{24{,}2} = 243$ W, valor inferior, como esperado, ao valor nominal que é 500 W.

**44.4** Usar um transformador que converta uma diferença de potencial de 230 V numa de 110 V.

**45.**

**45.1** As lâmpadas 2 e 3 estão em paralelo (têm os mesmos terminais); as lâmpadas 1 e 4 estão em série (são percorridas pela mesma corrente).

**45.2**




**45.3** Não há diferença de brilho, pois a diferença de potencial é a mesma nas duas lâmpadas e estas têm a mesma resistência, pois são iguais. Logo, a potência nelas dissipada, de que depende o brilho, é a mesma.

**45.4** (A). As correntes medidas por $A_2$ e $A_3$ são iguais, pois a mesma diferença de potencial está aplicada a resistências iguais. A corrente medida por A1 é menor, pois a mesma diferença de potencial está aplicada a uma maior resistência. A corrente medida por $A_4$ é a maior, pois é a soma das correntes nos ramos em paralelo: $I_4 = I_1 + I_2 + I_3$.

**45.5** (B). A resistência entre os pontos B e C é nula; a resistência entre os pontos D e E é nula; a resistência entre os pontos E e F é nula. Entre estes pares de pontos só há fios cuja resistência é desprezável (fios ideais). Entre pontos de resistência nula, a diferença de potencial também é nula, pois $U = RI = 0 \times I = 0$.

**46.**

**46.1** Os três condutores são óhmicos, o que significa que a sua resistência é independente da diferença de potencial aplicada (ou da corrente que os percorre). Como $U = RI$ ou $I = \frac{1}{R}U$, no gráfico $I(U)$ o declive da reta é igual ao inverso da resistência; logo, maior declive significa menor resistência: $R_A < R_B < R_C$.
OU: Para determinar a resistência de cada um deles, escolhemos pontos $(U, I)$ do gráfico de fácil leitura.
Assim, $R_A = \frac{10}{0{,}400} = 25\ \Omega$; $R_B = \frac{15}{0{,}300} = 50\ \Omega$; $R_C = \frac{20}{0{,}200} = 100\ \Omega$.
Portanto, $R_A < R_B < R_C$.

**46.2 a)** A diferença de potencial no gerador é a soma das diferenças de potencial em cada resistência: $U = U_A + U_B + U_C$. Como a corrente é a mesma em todas elas, obtemos $U_A = R_A I = 25 \times 0{,}200 = 5{,}0$ V; $U_B = 50 \times 0{,}200 = 10$ V e $U_C = 100 \times 0{,}200 = 20$ V. Portanto, $U = 5{,}0 + 10 + 20 = 35$ V.

**b)** Podem somar-se as potências dissipadas nos condutores.
OU: Obter a potência fornecida pelo gerador (potência útil) que é igual à potência total dissipada:
$P = UI = 35 \times 0{,}200 = 7{,}0$ W.

**46.3** A corrente no gerador é $I = I_A + I_B + I_C$. A diferença de potencial em cada resistência é a mesma e igual a $U = 10$ V.
Portanto, $I_A = \frac{U}{R_A} = \frac{10}{25} = 0{,}40$ A; $I_B = \frac{10}{50} = 0{,}20$ A e $I_C = \frac{10}{100} = 0{,}10$ A.
Logo, $I = 0{,}70$ A.

**47.**

**47.1** A potência no condutor de 500 Ω pode ser obtida a partir de $P = UI = \frac{U^2}{R} = \frac{12{,}0^2}{500} = 0{,}288$ W. A energia dissipada em 10,0 min é $E = P\Delta t = 0{,}288 \times 10{,}0 \times 60 = 1{,}73 \times 10^2$ J.

**47.2** A corrente na resistência maior é $I' = \frac{12{,}0}{500} = 2{,}40 \times 10^{-2}$ A e a corrente na resistência menor é $I'' = \frac{12{,}0}{200} = 6{,}00 \times 10^{-2}$ A.
A corrente medida no amperímetro é a soma destas duas correntes: $I = I' + I'' = 8{,}40 \times 10^{-2}$ A. Esta é também a corrente no gerador, para o qual se tem $U = \varepsilon - rI$. Substituindo os valores, $12{,}0 = \varepsilon - 4{,}50 \times 8{,}40 \times 10^{-2} \Rightarrow \varepsilon = 12{,}4$ V, que é a força eletromotriz do gerador.

**48.**

**48.1** A equação da curva característica do gerador é $U = \varepsilon - rI$.
Neste caso, $U = 8{,}0 - 1{,}0I$.
Portanto, $U(0{,}400) = 8{,}0 - 0{,}400 = 7{,}6$ V.

**48.2** Potência dissipada no gerador:
$P_{dissi} = rI^2 = 1{,}0 \times 0{,}400^2 = 0{,}16$ W.

**48.3** O voltímetro indica a diferença de potencial, $U'$, na resistência de 8,0 Ω: $U' = RI = 8{,}0 \times 0{,}400 = 3{,}2$ V.

**48.4** Como as duas resistências em paralelo são iguais, a corrente no ramo principal do circuito divide-se em partes iguais, ou seja, a corrente em cada ramo da associação em paralelo é igual a 200 mA = 0,200 A. A diferença de potencial $U''$, na associação em paralelo, é tal que $U = U' + U''$ $\Leftrightarrow 7{,}6 = 3{,}2 + U'' \Leftrightarrow U'' = 4{,}4$ V. Designando por $I'' = 0{,}200$ A a corrente em cada uma das resistências, então:
$R = \frac{U''}{I''} = \frac{4{,}4}{0{,}200} = 22\ \Omega$.

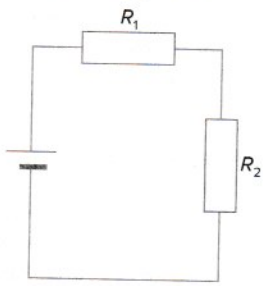
**49.**

**49.1** (D). A diferença de potencial nos terminais do gerador é dada por $U = \varepsilon - rI$. Como o gerador é ideal, tem-se $r \approx 0$ e $U \approx \varepsilon$, qualquer que seja a corrente que passe no gerador. Como $R_1$ e $R_2$ estão em paralelo, a diferença de potencial nos seus terminais é igual à diferença de potencial nos terminais do gerador. Quer o interruptor esteja ou não fechado, a diferença de potencial em $R_1$ é sempre igual à força eletromotriz, $\varepsilon$.
A corrente em $R_1$ é sempre $I = \frac{\varepsilon}{R_1}$, independentemente do estado do interruptor.

**49.2** Quando o interruptor está fechado, passa corrente em cada um dos condutores, sendo a diferença de potencial nos seus terminais igual à força eletromotriz do gerador, $\varepsilon$ (porque

o gerador é ideal). A potência dissipada é $P = UI = \frac{U^2}{R}$, logo $P_1 = \frac{\varepsilon^2}{R_1}$ e $P_2 = \frac{\varepsilon^2}{R_2}$. Portanto, se $R_1 > R_2$, então $P_2 > P_1$, e, num mesmo intervalo de tempo, a energia dissipada é maior no condutor 2 de resistência menor.

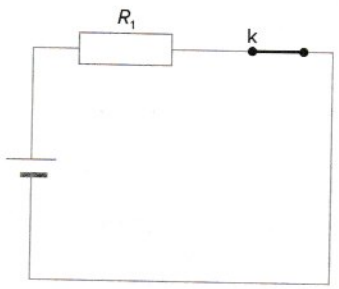
**50.** (C). A diferença de potencial nos terminais do gerador é dada por $U = \varepsilon - rI$. Como o gerador é ideal, tem-se $r \approx 0$ e $U \approx \varepsilon$, qualquer que seja a corrente que passe no gerador. Com k aberto, o circuito é o seguinte:




A diferença de potencial nos terminais do gerador, $\varepsilon$, divide-se pelas duas resistências: $\varepsilon = U_1 + U_2$, logo $U_1 < \varepsilon$.

A corrente é tal que $U = \varepsilon = IR_1 + IR_2 \Leftrightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}$.

Com k fechado, o condutor 2 fica em curto-circuito. O circuito é o seguinte:

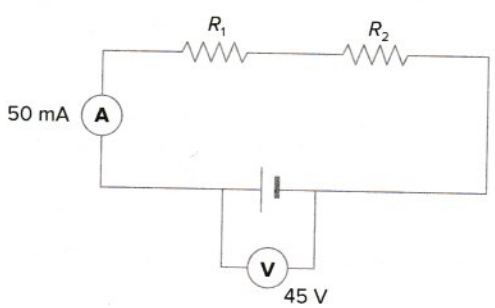



Toda a diferença de potencial estabelecida pelo gerador é aplicada no condutor 1: $U'_1 = \varepsilon$, por isso, a diferença de potencial nos terminais do condutor 1 aumenta.

A corrente, agora, é tal que $U'_1 = R_1 I' \Leftrightarrow I' = \frac{\varepsilon}{R_1} > \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}$. Portanto, a corrente também aumenta.

**51.**

**51.1** O esquema do circuito descrito é:

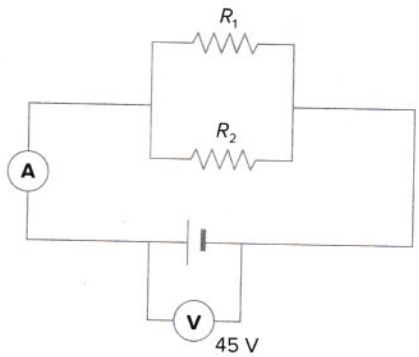



A corrente, $I$, é a mesma nas duas resistências e as diferenças de potencial são tais que: $U_1 + U_2 = 45{,}0 \Rightarrow R_1 I + R_2 I = 45{,}0$

$\Leftrightarrow (R_1 + 3R_1) \times 0{,}0500 = 45 \Rightarrow R_1 = \frac{45{,}0}{0{,}200} = 225\ \Omega$.

Portanto, $R_2 = 675\ \Omega$.

**51.2 a)**




O valor marcado no amperímetro é, agora, a soma das correntes em cada uma das resistências:

$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1} = \frac{45{,}0}{225} = 0{,}200$ A e $I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2} = \frac{45{,}0}{675} = 0{,}0667$ A.

O amperímetro marca agora $I = I_1 + I_2 = 0{,}267$ A.

**b)** A potência dissipada no gerador é $P_{diss} = rI^2$. Para uma mesma resistência interna, $r$, a potência será tanto maior quanto maior for a corrente no gerador, o que ocorre no caso da associação em paralelo.

## Atividades laboratoriais PÁG. 40

**52.**

**52.1** Corrente contínua. A figura mostra o multímetro em modo DCV (voltímetro, "direct current", ou seja, corrente contínua).

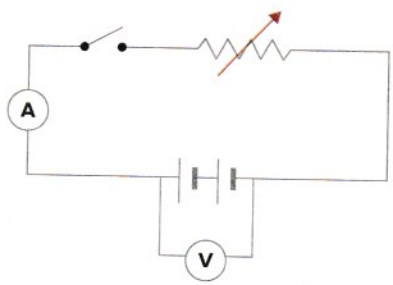
**52.2** A escala selecionada indica 20. Logo, o alcance nessa escala é 20 V.

**52.3** $U = (9{,}48 \pm 0{,}01)$ V.

**53.**

**53.1** Reóstato, amperímetro, voltímetro, interruptor e fios de ligação.

**53.2** O voltímetro está em paralelo com a associação de geradores (que estão em série) e o amperímetro está instalado em série.




**53.3** $I = (33{,}3 \pm 0{,}1) \times 10^{-3}$ A.

**53.4** A diferença de potencial é a mesma.

**53.5** O voltímetro indica 8,11 V (diferença de potencial na resistência variável) e o amperímetro indica $33{,}3 \times 10^{-3}$ A (corrente na resistência variável).

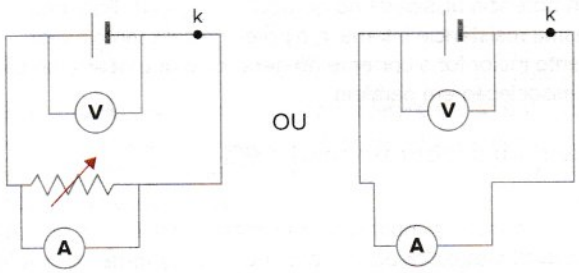
A resistência é $R = \frac{U}{I} = \frac{8{,}11}{33{,}3 \times 10^{-3}} = 244\ \Omega$.

**53.6** Para a associação de pilhas, $U = \varepsilon - rI$, e, introduzindo os valores conhecidos, $8{,}11 = 9 - r \times 33{,}3 \times 10^{-3}$, obtém-se o valor da resistência interna das pilhas: $r = 26{,}7\ \Omega$.
A potência dissipada nas pilhas é:
$P = rI^2 = 26{,}7 \times (33{,}3 \times 10^{-3})^2 = 3{,}0 \times 10^{-2}$ W.

**54.**
**54.1** Reóstato.

**54.2** A força eletromotriz da pilha é $\varepsilon = 9$ V. O voltímetro está ligado diretamente aos terminais da pilha, sem esta estar ligada a nenhum circuito. Como a resistência interna do voltímetro é muito elevada, a corrente, $I$, que passa na pilha é muito pequena. Como $U = \varepsilon - rI$, tem-se $U \approx \varepsilon$.

**54.3 a)** Como a resistência do amperímetro é desprezável, a pilha ficaria em curto-circuito: nenhuma corrente passaria pela resistência variável, pois toda a corrente passaria pelo amperímetro. O circuito seria o seguinte:




A diferença de potencial nos terminais da pilha seria nula:
$U = 0$ V

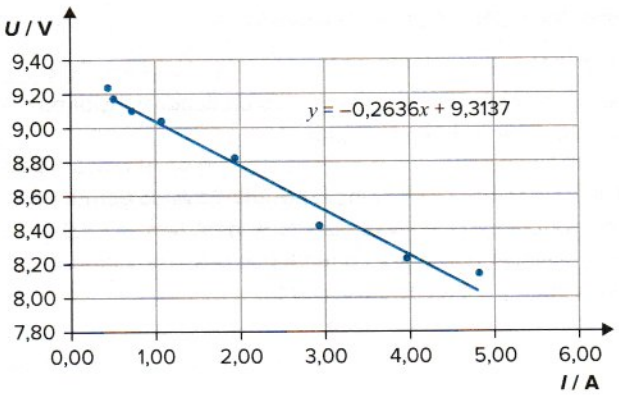
**b)** A corrente seria elevada (corrente de curto-circuito):
$U = \varepsilon - rI = 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r}$.
Como $r$ é pequeno, $I$ é elevado.

**c)** A elevada corrente no amperímetro poderia danificá-lo devido ao efeito Joule.

**54.4 a)** Diminuíram a resistência, pois a corrente aumenta.

**b)** A maior resistência corresponde à corrente $I_1 = 0{,}44$ A, sendo a correspondente diferença de potencial $U_1 = 9{,}26$ V. A menor resistência corresponde à corrente $I_2 = 4{,}83$ A e a $U_2 = 8{,}14$ V. As potências, dadas por $P = UI$, são $P_1 = 4{,}1$ W e $P_2 = 39{,}3$ W, ou seja, a potência é maior para a menor resistência (mais rápida é a transferência de energia para o circuito).

**c)** A equação característica da pilha é $U = \varepsilon - rI$. No caso presente, $U = 9{,}31 - 0{,}264\ I$. As características da pilha são $\varepsilon = 9{,}31$ V e $r = 0{,}26\ \Omega$.




**55.**
**55.1** Pilha A: $\varepsilon_A = 3{,}89$ V e $r_A = 31{,}2\ \Omega$
Pilha B: $\varepsilon_B = 3{,}76$ V e $r_B = 41{,}2\ \Omega$.
A pilha menos usada é a que tem maior força eletromotriz e menor resistência interna, que, neste caso, é a pilha A. Com o uso, a pilha vai diminuindo a sua força eletromotriz, mas vai aumentando a sua resistência interna.
$\text{Erro percentual} = \frac{\text{valor mais provável} - \text{valor tabelado}}{\text{valor tabelado}} \times 100\ (\%)$.
Portanto:
$\text{Erro percentual} = \frac{3{,}89 - 4{,}5}{4{,}5} = -14\%$ (erro por defeito).

**55.2 a)** $U = (3{,}30 \pm 0{,}05)$ V.
A incerteza é metade da menor divisão da escala que é 0,1 V.

**b)** A potência dissipada é $P = rI^2$. É necessário determinar a corrente que passa em cada pilha.
Pilha A:
$3{,}30 = 3{,}89 - 31{,}2\,I_A \Leftrightarrow I_A = 1{,}89 \times 10^{-2}$ A.
Pilha B:
$3{,}30 = 3{,}76 - 41{,}2\,I_B \Leftrightarrow I_B = 1{,}12 \times 10^{-2}$ A.
Potência dissipada na pilha A:
$P_A = 31{,}2 \times (1{,}89 \times 10^{-2})^2 = 1{,}11 \times 10^{-2}$ W.
Potência dissipada na pilha B:
$P_B = 41{,}2 \times (1{,}12 \times 10^{-2})^2 = 5{,}17 \times 10^{-3}$ W.
Portanto, $P_A > P_B$.

**56.**
**56.1** Lê-se diretamente no gráfico que $\varepsilon = 3{,}0$ V.
Por outro lado, de $U = \varepsilon - rI \Rightarrow U = 3 - rI$, pode encontrar-se o valor da resistência interna, $r$, tomando o ponto assinalado no gráfico (500 mA; 2,2 V).
Tem-se, então, $2{,}2 = 3{,}0 - r \times 0{,}500 \Rightarrow r = 1{,}6\ \Omega$.
A potência dissipada na pilha é $P = rI^2 = 1{,}6 \times 0{,}200^2 = 64$ mW.

**56.2** A equação correspondente à curva característica é $U = 3{,}0 - 1{,}6I$, sendo a corrente máxima na pilha (a corrente de curto-circuito) a correspondente a $U = 0$.
Daqui se obtém $I = \frac{3{,}0}{1{,}6} = 1{,}875$ A = 1875 mA, valor superior ao alcance do amperímetro da figura, que é de 800 mA.

## Questões globais PÁG. 42

### Grupo I

**1.**

**1.1** Iões.

**1.2** Eletrões.

**2.** Corrente contínua.

**3.**

**3.1** Intercalando um reóstato no circuito em série com o LED. A diferença de potencial disponibilizada pela associação de pilhas distribui-se pelo reóstato e pelo LED. Variando a resistência no reóstato, varia a diferença de potencial no LED.

**3.2** No gráfico lê-se a diferença de potencial para a corrente indicada: 1,2 V. Como $U = \frac{E}{Q}$, para $Q = 1$ C, são transferidos para o LED 1,2 J.

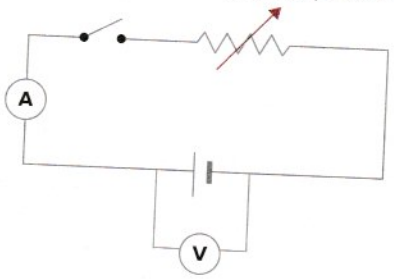
**3.3** (D). O gráfico $I(U)$ permite concluir que as três primeiras afirmações estão incorretas. (D) está correta, pois, ainda do gráfico, verifica-se que o crescimento da corrente com a diferença de potencial é maior a partir de $U = 1{,}4$ V.

**3.4 a)** A força eletromotriz da associação das duas pilhas é $\varepsilon = 3{,}0$ V e a resistência interna dessa associação obtém-se a partir de $U = \varepsilon - rI$, quando $U = 0$ e $I = I_{máx} = 3{,}0$ A. Vem $r = \frac{\varepsilon}{I_{máx}} = \frac{3{,}0}{3{,}0} = 1{,}0\ \Omega$. Quando a corrente é 30 mA, a diferença de potencial nos terminais da associação de pilhas é $U = 3{,}0 - 1{,}0 \times 0{,}030 = 2{,}97$ V. Mas, esta diferença de potencial é igual à soma das diferenças de potencial na resistência e no LED (associação em série): $U = U_R + U_{LED}$, sendo $U_R = RI$. Pelo gráfico do LED, para uma corrente de 30 mA, tem-se $U_{LED} = 1{,}4$ V. Logo, $2{,}97 = 0{,}030R + 1{,}4 \Leftrightarrow R = 52\ \Omega$.

**b)** Potência no LED: $P = UI = 1{,}4 \times 0{,}030 = 0{,}042$ W
Em 45 minutos são transferidos para o LED,
$E = P\Delta t = 0{,}042 \times 45 \times 60 = 1{,}1 \times 10^2$ J.

**c)** $P_{diss} = rI^2 = 1{,}0 \times 0{,}030^2 = 9{,}0 \times 10^{-4}$ W.

**c)** Usando um circuito com o gerador, um reóstato, um interruptor, um voltímetro e um amperímetro ligados como mostra o esquema seguinte. Para cada valor da resistência variável, mede-se a diferença de potencial nos terminais do gerador com o voltímetro e a corrente no amperímetro e constrói-se o gráfico $U(I)$ com os dados experimentais.

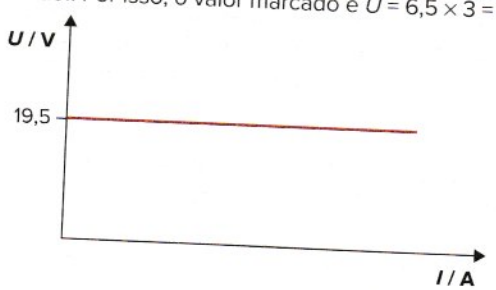



**d)** A diferença de potencial nos terminais do gerador seria zero e a corrente seria a máxima (de curto-circuito).
Do gráfico $U(I)$, obtém-se a resistência interna do gerador, que é igual ao módulo do declive da reta: $\frac{3{,}0 - 5{,}0}{2{,}0} = -1{,}0\ \Omega$.
Então, a função $U(I)$ é $U = 5{,}0 - 1{,}0 \times I$.
Para $U = 0$, obtém-se a corrente máxima: $I_{máx} = 5{,}0$ A
A potência dissipada seria $P_{diss} = rI^2_{máx} = 1{,}0 \times 5{,}0^2 = 25$ W.

**1.3** A diferença de potencial no gerador, $U = 5{,}0 - 1{,}0 \times I$, é igual à diferença de potencial na lâmpada, $U = 40I$.
Portanto, $5{,}0 - I = 40I \Rightarrow I = \frac{5{,}0}{41} = 1{,}2 \times 10^{-1}$ A.

**2.**

**2.1** O gerador ideal tem resistência interna desprezável, $r \approx 0$. Então, $U = \varepsilon - rI \approx \varepsilon$. A diferença de potencial nos seus terminais é sempre igual à força eletromotriz, qualquer que seja a corrente.
O voltímetro tem quatro escalas. A figura está na escala em que o alcance é 30 V, ou seja, 3 vezes maior do que a escala do mostrador. Por isso, o valor marcado é $U = 6{,}5 \times 3 = 19{,}5$ V.




**2.2** A resistência introduzida é $R = \frac{U}{I} = \frac{19{,}5}{32{,}5 \times 10^{-3}} = 600\ \Omega$.
É este o alcance do reóstato.

**2.3** A diferença de potencial $U$, aplicada no reóstato, é uma constante, pois o gerador é ideal, ou seja, $U \approx \varepsilon$. A potência dissipada no reóstato é $P = UI = \frac{U^2}{R} = \frac{19{,}5^2}{R}$. Como a diferença de potencial $U$ é constante, $P$ e $R$ são inversamente proporcionais, ou seja, quando aumenta a resistência diminui a potência dissipada.

**3.** A potência dissipada é dada por $P = UI = \frac{U^2}{R}$, em que $R = 81\ \Omega$ é a resistência do condutor e $U$ é a diferença de potencial nele aplicada. Então, $U = \sqrt{PR} = \sqrt{3{,}24 \times 81} = 16{,}2$ V. Esta diferença

### Grupo II

**1** (A). A resistência elétrica é, por definição, $R = \frac{U}{I}$. Portanto, $U = RI$. Quando o gráfico de $U(I)$ é uma reta, o declive da reta é igual à resistência.

**2 a)** Usa-se um voltímetro diretamente ligado ao gerador, em este estar ligado a um circuito. A resistência interna do oltímetro é muito elevada (praticamente infinita), pelo que a orrente no circuito gerador e no voltímetro é praticamente ula. A diferença de potencial indicada no voltímetro (igual à gerador) é $U = \varepsilon - rI \approx \varepsilon$ porque $I \approx 0$.

A força eletromotriz do gerador é a ordenada na origem, seja, $\varepsilon = 5{,}0$ V. O voltímetro indicado não é adequado, pois eu alcance é de apenas 4 V, valor inferior a 5 V.

de potencial no condutor é também a diferença de potencial na associação de pilhas. A corrente no circuito é $I = \frac{U}{R} = \frac{16,2}{81} = 0,20$ A. Como a força eletromotriz da associação de pilhas é $\varepsilon = 18$ V, podemos usar $U = \varepsilon - rI$ para obter a resistência interna:
$16,2 = 18 - r \times 0,20 \Rightarrow r = \frac{18 - 16,2}{0,20} = 9,0\ \Omega$.

**4.**

**4.1** A resistência interna da pilha é igual à do reóstato, quando a potência é máxima, logo $r = R = 0,50\ \Omega$. Como $P = RI^2$, para a potência máxima no reóstato, a corrente é $4,5 = 0,50I^2 \Leftrightarrow I = 3,0$ A. E a diferença de potencial nos terminais do reóstato é $U = RI = 0,50 \times 3,0 = 1,5$ V, que é também a diferença de potencial nos terminais da pilha. Para a pilha, $U = \varepsilon - rI \Rightarrow 1,5 = \varepsilon - 0,50 \times 3,0 \Rightarrow \varepsilon = 3,0$ V = Y. A equação correspondente à curva característica da pilha é $U = 3,0 - 0,50I$. A corrente máxima é X, correspondente a $U = 0$:
$0 = 3,0 - 0,50X \Rightarrow X = 6,0$ A.

**4.2** A potência útil é $P_{útil} = RI^2$ e a potência dissipada na pilha é $P_{diss} = rI^2$. Mas, como $r = R$, estas potências são iguais: $P_{útil} = P_{diss}$. Então, a potência total da pilha é $P_{total} = 2\,P_{útil}$. Como a energia útil é metade da energia total fornecida pela pilha, o rendimento é 50%.

## Grupo III

**1.1 a)** Os condutores de 5 Ω e de 1 Ω.

**b)** Os condutores de 18 Ω e de 9 Ω.

**c)** Os condutores de 5 Ω e de 1 Ω.

**d)** Os condutores de 18 Ω e de 9 Ω.

**1.2** Condutor de 16 Ω. Por ele passa toda a corrente que passa no gerador. Essa corrente vai-se ramificando e percorre todas as restantes resistências representadas no circuito.

**2.**

**2.1** A resistência do cabo entre as patas é:
$R = 6,0 \times 10^{-5} \times 0,050 = 3,0 \times 10^{-6}\ \Omega$.
A diferença de potencial é:
$U = RI = 3,0 \times 10^{-6} \times 1,0 \times 10^{3} = 3,0 \times 10^{-3}$ V = 3,0 mV.

**2.2** $E = P\Delta t = RI^2\Delta t = 3,0 \times 10^{-6} \times (1,0 \times 10^{3})^2 \times 2,0 \times 60 = 3,6 \times 10^{2}$ J.

**2.3** O pássaro é um condutor que fica em paralelo com a parte do cabo que está entre as suas patas e esta tem muito menos resistência do que o pássaro, por isso, a corrente é intensa no cabo, mas pequena no pássaro. Como se viu, a diferença de potencial aplicada ao pássaro é muito pequena; como a resistência elétrica dele é relativamente elevada, a corrente que o atravessa é praticamente nula.

**2.4** A potência dissipada é $P = RI^2$. Como a corrente é constante, o aumento percentual da potência é igual ao aumento percentual da resistência.
Aumento da resistência:
$\frac{10}{4\%} = \frac{25}{x} \Leftrightarrow x = 2,5 \times 4\% = 10\%$.
O aumento percentual da potência dissipada foi 10%.

**3.**

**3.1** (A). Com os dois interruptores fechados, $U = R_1 I_1 = R_2 I_2$. Logo, corrente e resistência são inversamente proporcionais.

**3.2 a)** Como o gerador é ideal, a sua resistência interna é desprezável e a diferença de potencial nos seus terminais é igual à força eletromotriz; por isso, o voltímetro indica sempre a força eletromotriz, $U = \varepsilon$, independentemente das condições dos interruptores.

**b)** A diferença de potencial nos terminais de $R_1$ mantém-se, pois $R_2$ fica em paralelo. Por isso, a corrente que passa em $R_1$ também se mantém, uma vez que $U = RI$. O amperímetro $A_1$ marca o mesmo.

**c)** Inicialmente só passa corrente em $R_1$; quando se fecha $k_2$ também vai passar corrente em $R_2$, não havendo alteração na corrente que passa em $R_1$. O amperímetro $A_2$ agora vai marcar a soma das correntes que passam em $R_1$ e $R_2$, por isso, passa a marcar uma corrente maior.

**4.**

**4.1** A potência útil do gerador é:
$P_u = UI_3 = (\varepsilon - rI_3)\,I_3 = (8,00 - 1,00 \times 0,300) \times 0,300 = 2,31$ W
(a corrente no gerador e em $L_3$ é a mesma).

**4.2** A potência dissipada no gerador é:
$P_{dissi} = rI_3^2 = 1,00 \times 0,300^2 = 9,00 \times 10^{-2}$ W.

**4.3** Rendimento: $\frac{P_u}{P} = \frac{2,31}{2,31 + 0,0900} = 0,96$. Em percentagem é 96,3%.

**4.4** A potência dissipada na lâmpada 3 é:
$P_3 = R_3 I_3^2 = 20,0 \times 0,300^2 = 1,80$ W.
A energia dissipada em 15 minutos é:
$E = P_3\,\Delta t = 1,80 \times 15 \times 60 = 1,6 \times 10^{3}$ J.

**4.5** A diferença de potencial em $L_3$ é:
$U_3 = R_3 I_3 = 20,0 \times 0,300 = 6,00$ V.
A partir de $U = \varepsilon - rI_3 = 8,00 - 1,00I_3$ encontra-se a diferença de potencial nos terminais do gerador: $U(0,300) = 7,70$ V.
A diferença de potencial na associação em paralelo é
$U_{1,2} = U - U_3 = 7,70 - 6,00 = 1,70$ V.
A corrente em $L_1$ é $I_1 = \frac{U_{1,2}}{R_1} = \frac{1,70}{20,0} = 85,0 \times 10^{-3}$ A = 85,0 mA.
Como $I_3 = I_1 + I_2 \Leftrightarrow I_2 = I_3 - I_1 = 300 - 85 = 215$ mA.
A resistência $R_2$ é obtida a partir da diferença de potencial nesse condutor e da corrente que o percorre: $R_2 = \frac{U_{1,2}}{I_2} = \frac{1,70}{0,215} = 7,91\ \Omega$.

**5.** A diferença de potencial nos terminais do gerador é $U = U_1 + U_2 = 5,5 + 4,0 = 9,5$ V. Nos condutores em paralelo, as correntes são $I' = \frac{4,0}{80,0} = 0,050$ A, na resistência de 80,0 Ω, e $I'' = \frac{4,0}{8,0} = 0,50$ A na resistência de 8,0 Ω. A corrente no ramo principal (gerador e resistência $R$) é $I = I' + I'' = 0,55$ A. Esta é a corrente indicada pelo amperímetro. A resistência $R$ é obtida a partir de $R = \frac{U}{I} = \frac{5,5}{0,55} = 10\ \Omega$. Para encontrar a força eletromotriz

da pilha, usamos $U = \varepsilon - rI$:
$9{,}5 = \varepsilon - 2{,}0 \times 0{,}55 \Rightarrow \varepsilon = 9{,}5 + 1{,}1 = 10{,}6$ V.

**6.**

**6.1** A resistência interna da pilha nova é igual ao módulo do declive da reta: declive $= \frac{12{,}0 - 8{,}0}{2{,}0 - 0{,}0} \Rightarrow r = 2{,}0\ \Omega$.
E a equação para a pilha nova é $U' = 12{,}0 - 2{,}0I$.
A equação para a pilha utilizada pelos alunos é $U = 11{,}2 - 2{,}60I$.
A pilha que foi utilizada tem uma menor força eletromotriz ($11{,}2$ V $< 12{,}0$ V) e uma maior resistência interna ($2{,}60\ \Omega > 2{,}0\ \Omega$) do que a pilha nova, pelo que se pode concluir que é uma pilha já usada.

**6.2** Para a pilha velha, $U = 11{,}2 - 2{,}60I$. A corrente é máxima quando $U = 0$: $I_{máx} = \frac{11{,}2}{2{,}60} = 4{,}31$ A; metade desta corrente é $I = 2{,}15$ A. A correspondente diferença de potencial nos terminais da pilha é $U(2{,}15) = 11{,}2 - 2{,}60 \times 2{,}15 = 5{,}61$ V.
A máxima potência útil é $P = UI = 5{,}61 \times 2{,}15 = 12{,}1$ W.

## 1.3 Energia, fenómenos térmicos e radiação

### 1.3.1 Sistema termodinâmico. Sistema isolado PÁG. 51

**1.** (D). O sistema é termodinâmico sempre que se tem em conta variações da sua energia interna.

**2.** Sistema que não troca energia com a vizinhança através da fronteira. Uma aproximação é o líquido no interior de uma garrafa-termo.

**3.** (B). Não há trocas de energia por calor ou por trabalho.

### 1.3.2 Temperatura, equilíbrio térmico e escalas de temperatura PÁG. 51

**4.**

**4.1** $T = 36{,}5 + 273{,}15 = 309{,}7$ K.

**4.2** Como $\Delta t$ / °C = $\Delta T$ / K, então $\Delta t = 3{,}0$ °C corresponde a $\Delta T = 3{,}0$ K.

**5.**

**5.1** $T = 6000 + 273{,}15 = 6273$ K.

**5.2** $t = 7200 - 273{,}15 = 6927$ °C.

**6.** A amplitude térmica mínima é $\Delta t = 30$ °C. Como $\Delta t$ / °C = $\Delta T$ / K, aquela amplitude corresponde a $\Delta T = 30$ K.

**7.** (B). Recorda-se que $t_{fusão} = 0$ °C, $t_{ebul.} = 100$ °C e que $T$ / K = 273,15 + $t$ / °C.

**8.** O ponto de ebulição é também a temperatura a que o hidrogénio passa de gás a líquido e que é $T = -252{,}87 + 273{,}15 = 20{,}28$ K.

**9.** (B). Dois sistemas em equilíbrio térmico estão, por definição, à mesma temperatura (mas não têm, em geral, a mesma energia interna).

### 1.3.3 Transferências de energia por calor PÁG. 52

**10.**

**10.1** (C). Calor e trabalho são processos de transferir energia para o sistema e que fazem variar a energia interna do sistema. No caso da experiência de Joule, aumentava a energia interna, o que se traduzia num aumento de temperatura da água, devido a trabalho (peso do corpo que se deslocava).

**10.2** Através do trabalho realizado pelo peso do corpo.

**11.** **A.** Trabalho; **B.** Trabalho; **C.** Trabalho; **D.** Calor.
Nos casos A, B, e C há uma força que desloca o seu ponto de aplicação.

**12.** **A.** Radiação solar absorvida pelo corpo.
**B.** Radiação que incide sobre a carne; condução através do espeto e da carne; condução do espeto para a carne.
**C.** Condução do disco para a panela e da panela para a água; convecção na água.
**D.** Convecção no ar.

**13.** (D). Calor não é uma propriedade dos corpos (não existe nos corpos), mas sim um processo de transferir energia de um corpo para a vizinhança deste ou vice-versa. Essa energia transferida também se chama calor.

### 1.3.4 Radiação e irradiância. Painéis fotovoltaicos PÁG. 52

**14.** (A). Todos os corpos, a qualquer temperatura, emitem e absorvem radiação. Se estiverem em equilíbrio térmico com a sua vizinhança, a energia que emitem, por unidade de tempo e por unidade de área, é igual à que absorvem.

**15.** Os corpos pintados de negro absorvem praticamente toda a radiação visível que neles incide. Com telhados negros, a radiação visível que neles incide é absorvida, o que contribui para aquecer a casa.

**16.** Devido à cor branca da neve, praticamente toda a radiação visível que incide na neve é refletida, ou seja, não é absorvida por ela. Por isso, mesmo ao sol, a neve demora tempo a fundir.

**17.** (D). A parede negra (ao contrário da polida) permite o máximo de absorção da radiação solar visível, contribuindo essa radiação absorvida para diminuir o tempo de cozedura.

**18.** O termómetro da figura e os termómetros clínicos atuais (que vieram substituir os de mercúrio) funcionam por absorção da radiação infravermelha emitida pela pessoa. As características da radiação emitida pelo ser humano (ou por qualquer corpo) dependem da sua temperatura. Assim, a análise da radiação infravermelha emitida permite concluir a que temperatura está o corpo.

**19.** Por segundo e por cada metro quadrado, a energia da radiação solar que chega ao topo da atmosfera é, em média, 1370 J.

**20.**

**20.1** Corrente contínua.

**20.2 a)** Associação em paralelo, com todos os painéis com a mesma diferença de potencial. Cada painel gera a corrente $I_i$ e a corrente total é $I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$

**b)** Associação em série. Cada painel fica à diferença de potencial $U_i$ e a diferença de potencial total é $U_{total} = U_1 + U_2 + U_3 + ...$

**20.3 a)** A irradiância é dada por $E_r = \frac{P}{A}$, ou seja, é a potência por unidade de área. A potência total incidente nos painéis é $P = E_r A = 320 \times 30 \times 1{,}70 \times 1{,}00 = 1{,}63 \times 10^4$ W e a potência útil é $P_u = 0{,}14P = 2{,}28 \times 10^3$ W.

**b)** Exprimindo a potência em quilowatts, $P = 16{,}3$ kW, e o intervalo de tempo em horas, $\Delta t = 10$ h, obtém-se $E = P\,\Delta t = 16{,}3 \times 10 = 163$ kW h.

**20.4 a)** A inclinação da radiação solar relativamente ao painel. Quanto mais próximo da perpendicular ao painel incidir a radiação, maior será a potência útil. Por um lado, a inclinação dos raios solares relativamente aos painéis vai variando ao longo do dia, pois os painéis estão geralmente fixos; por outro lado, a irradiância solar também vai variando ao longo do dia, tendo, de um modo geral, o seu máximo por volta do meio-dia solar.

**b)** Ao meio-dia solar, quando o Sol estiver na sua altura máxima.

**c)** Como a irradiância seria menor, as formas das curvas seriam semelhantes, mas as potências máximas seriam todas menores.

**21.**

**21.1** Como $P = UI$ e $U = 18{,}0$ V e $I = 2{,}20$ A, então $X = P = 39{,}6$ W.

**21.2** (D). O gráfico $P(U)$ mostra que, para diferenças de potencial inferiores a metade do valor máximo (cerca de 10,0 V), o gráfico é, aproximadamente, uma reta que passa pela origem. Como $P = IU$, significa que a corrente $I$ é aproximadamente constante, o que pode ser confirmado no primeiro gráfico.

**21.3** (D). Lê-se diretamente nos gráficos que, quando a temperatura aumenta, aumenta a corrente máxima e diminui a máxima tensão. Recorda-se que a potência máxima se situa no ponto da curva $I(U)$, representado no primeiro gráfico, apresentado no enunciado desta questão.

**22.** Como $E_r = \frac{E}{A\,\Delta t}$, então $E = E_r A\,\Delta t = 390 \times 2{,}00^2 \times 6{,}0 \times 3600 = 3{,}37 \times 10^7$ J.

Rendimento: $\eta(\%) = \frac{E_{útil}}{E_{total}} \times 100$

$\Leftrightarrow 13{,}0 = \frac{E_{útil}}{3{,}37 \times 10^7} \times 100 \Leftrightarrow E_{útil} = 4{,}38 \times 10^6$ J.

Em quilowatts-hora será $\frac{4{,}38 \times 10^6}{3{,}6 \times 10^6} = 1{,}2$ kW h.

**23.** Rendimento: $\eta(\%) = \frac{E_{útil}}{E_{total}} \times 100 \Leftrightarrow 12{,}0 = \frac{25{,}0}{E_{total}} \times 100$

$\Leftrightarrow E_{total} = 208$ kW h $= 208 \times 3{,}6 \times 10^6 = 7{,}50 \times 10^8$ J.

Área total dos painéis:

$E_r = \frac{E_{total}}{A\,\Delta t} \Leftrightarrow A = \frac{E_{total}}{E_r\,\Delta t} = \frac{7{,}50 \times 10^8}{450 \times 9{,}00 \times 3600} = 51{,}4$ m$^2$.

**24.** A energia útil por ano é $4{,}4 \times 10^{10}$ kW h e a energia total absorvida pelos painéis, num ano, é calculada a partir do rendimento: $E_{total} = \frac{E_{útil}}{0{,}15} = 2{,}93 \times 10^{11}$ kW h.

Por ano e por metro quadrado chegam, em média, 1500 kW h de energia, pelo que a área total de painéis seria $\frac{2{,}93 \times 10^{11}}{1500} =$

$= 1{,}95 \times 10^8$ m$^2$ $= 195$ km$^2$ (área de um quadrado com aproximadamente 14 km de lado).

**25.** Potência útil: como $E_r = \frac{E}{A\,\Delta t} = \frac{P}{A}$, então

$P_{total} = E_r A = 270 \times 0{,}20 \times 0{,}15 = 8{,}1$ W.

A potência útil será $P_{útil} = \eta\, P_{total} = 0{,}12 \times 8{,}1 = 0{,}972$ W.

Como a velocidade é constante, pelo Teorema da Energia Cinética, $W_{\vec{P}} + W_{\vec{F}} = 0 \Leftrightarrow Pd\cos 180^\circ + Fd\cos 0^\circ = 0 \Leftrightarrow F = P = mg$.

O trabalho a realizar para elevar o objeto é

$W = Fd\cos 0^\circ = 2{,}0 \times 10 \times 3{,}0 = 60$ J.

O tempo da operação obtém-se de $P_{útil} = \frac{W}{\Delta t}$, ou seja,

$\Delta t = \frac{60}{0{,}972} = 62$ s.

## 1.3.5, 1.3.6 e 1.3.7 Condução térmica. Convecção térmica. Transferência de energia num coletor solar PÁG. 55

**26.** (C). O isolamento térmico de um sistema é tanto melhor quanto menor for a condutividade térmica do material que constitui a fronteira (como é o caso da lã).

**27.** (B). Quatro ordens de grandeza mais pequeno significa cerca de $10^4$ vezes menor: $\frac{238}{0{,}023} = \frac{2{,}38 \times 10^2}{2{,}3 \times 10^{-2}}$.

OU: $\eta_{ar} \sim 10^{-4}\ \eta_{Al} \sim 0{,}023$.

**28.** (D). Alguns frigoríficos têm as prateleiras em grade (ou aberturas laterais) para facilitar a formação de correntes de convecção. No vácuo só há transferência de energia por radiação.

**29.** A que está na barra de alumínio. A condutividade térmica do alumínio é muito maior do que a da madeira, pelo que a transferência de energia (calor) por condução térmica ao longo da barra se faz mais rapidamente no alumínio.
A temperatura da extremidade onde estão as bolas de cera aumentará mais rapidamente no caso da barra de alumínio, pelo que estas fundirão mais rapidamente do que no caso da barra de madeira.

**30.** As pás movem-se devido às correntes de convecção que se formam no ar. À medida que a lâmpada aquece, o ar em torno da lâmpada também aquece; fica menos denso e começa a subir, arrefecendo. Ar frio vindo das regiões à volta da lâmpada ocupa o espaço em torno desta; este ar aquece, sobe, e o fenómeno repete-se. Formam-se assim correntes ascensionais de ar quente – as correntes de convecção. Trata-se de ar em movimento que, ao atingir as pás da ventoinha, as põe em movimento.

**31.**

**31.1** O prefixo "tera" significa um milhão de milhões (bilião), ou seja, $10^{12}$. Portanto, a energia que chega à superfície terrestre é $8{,}9 \times 10^{8} \times 10^{12}$ W h = $8{,}9 \times 10^{20}$ W h.
Em kW h, é $8{,}9 \times 10^{17}$ kW h.
Em joules, é $8{,}9 \times 10^{20} \times 3600 = 3{,}2 \times 10^{24}$ J.

**31.2** No painel fotovoltaico, a incidência de luz produz uma diferença de potencial nos seus terminais, criando-se corrente elétrica num circuito. No coletor solar, a energia da radiação é absorvida e usada em aquecimento de um fluido (em geral, água).

**32.**

**32.1** A energia total que chega ao coletor, $E_{total}$, é tal que $E_{útil} = 0{,}73\ E_{total} = 11{,}61$ kW h $\Rightarrow E_{total} = 15{,}90$ kW h.
A irradiância é $E_r = \frac{E_{total}}{A\ \Delta t} = \frac{15{,}90 \times 10^{3} \times 3600}{5{,}11 \times 10 \times 3600} = 311$ W m$^{-2}$.

**32.2 a)** A cor negra absorve praticamente toda a radiação visível.

**b)** Os tubos devem ter boa condutividade térmica, para mais rapidamente transferirem a energia para o fluido circulante, ao contrário do material isolante. Portanto, a condutividade térmica dos tubos é muito maior do que a do material isolante.

**c)** **A.** Radiação; **B.** Condução; **C.** Condução; **D.** Convecção.

**d)** A densidade do fluido é maior quando está frio do que quando está quente. Por isso, o fluido frio desce, ocupando a parte inferior do reservatório, e o fluido quente sobe, ocupando a parte superior.

## 1.3.8 Aquecimento e arrefecimento de sistemas: capacidade térmica mássica PÁG. 56

**33.** Para elevar de 1 °C a temperatura de 1 g de chumbo, é necessário fornecer ao sistema a energia 0,0305 cal:
$\frac{0{,}0305 \text{ cal}}{1 \text{ g} \times 1 \text{ °C}} = \frac{0{,}0305 \times 4{,}18 \text{ J}}{1 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 1 \text{ K}} = 127$ J kg$^{-1}$ K$^{-1}$.

**34.** (D). Sendo $E = mc\Delta T$, para o mesmo $m$ e o mesmo $E$, tem-se $\frac{E}{m} = c\Delta T$, ou seja, $c$ e $\Delta T$ são inversamente proporcionais. Assim, quanto maior for o $\Delta T$ menor será o $c$.

**35.** (C). Para uma certa massa de água ($m$ e $c$ fixos), a mesma energia transferida provoca igual variação de temperatura, pois $E = mc\Delta T$. Por outro lado, quanto menor for a temperatura dessa massa de água, menor será a sua energia interna.

**36.** Para o corpo A, $E_A = m_A\ c_A\ \Delta T_A$ e, para o corpo B, $E_B = m_B\ c_B\ \Delta T_B = 3 \times 2 \times m_A\ c_A\ \Delta T_B$. Ora, como $E_A = E_B$, resulta que $\Delta T_A = 6\Delta T_B$. Como as temperaturas iniciais são iguais, a temperatura final de A será maior do que a de B.

**37.** (C). Quanto mais baixa for a condutividade térmica, mais lentamente se fará a transferência de energia por calor. Por outro lado, de $E = mc\Delta T$, para uma dada massa, $m$, e energia transferida, $E$, quanto maior for o $c$ menor será o $\Delta T$, pois são inversamente proporcionais.

**38.** Sendo $E = mc\Delta T$, para o mesmo $m$ e o mesmo $E$, tem-se $\frac{E}{m} = c\Delta T$, ou seja, $c$ e $\Delta T$ são inversamente proporcionais. Como a capacidade térmica da areia é menor do que a da água, $c_{areia} < c_{água}$, então $\Delta T_{areia} > \Delta T_{água}$, ou seja, há maior variação de temperatura na areia do que na água, independentemente de haver aquecimento ou arrefecimento.

**39.** Como $E = mc\Delta T$, o gráfico da função $E(\Delta T)$ é uma reta de declive $mc$. Como os corpos têm a mesma massa, o maior declive da reta corresponde ao gráfico de maior capacidade térmica mássica, $c$. Logo, por ordem decrescente de capacidade térmica mássica, tem-se A, B, C, D e E.

**40.**

**40.1** (B). Para um aumento de temperatura de 40 °C, A recebeu metade da energia de B.

**40.2** Como $E = mc\Delta T$, e para a mesma energia recebida, a variação de temperatura de A foi duas vezes maior do que a de B; como $m$ é igual e a energia, $E$, é igual, então, de $\frac{E}{m} = c\Delta T$, conclui-se que uma maior variação de temperatura corresponderá a uma menor capacidade térmica mássica, ou seja, $c_A < c_B$. Como $c_{Al} = 2c_{Fe}$, a reta A corresponde ao ferro e a reta B ao alumínio.

**40.3** $E_A = m_A\ c_A\ \Delta T_A = 0{,}100 \times 4{,}43 \times 10^{2} \times 40 = 1{,}77 \times 10^{3}$ J.

**41.** (A). De $E = mc\Delta T$, obtém-se $\frac{\Delta T}{E} = \frac{1}{mc}$, que é igual ao declive das retas. Para X, esse declive é $\frac{1}{mc_X} = \frac{5}{2} \Leftrightarrow m = \frac{2}{5c_X}$; e, para Y, $\frac{1}{mc_Y} = \frac{4}{4} = 1 \Leftrightarrow m = \frac{1}{c_Y}$.
Igualando as expressões, obtém-se $\frac{c_X}{c_Y} = \frac{2}{5}$.

**42.**

**42.1** Como $E = mc\Delta T$, observando o gráfico, verifica-se que, para a mesma energia fornecida, N sofreu uma maior variação de temperatura. Como $m$ é igual, a uma maior variação de temperatura corresponde uma menor capacidade térmica mássica, uma vez que, como $\frac{E}{m} = c\Delta T$, o produto $c\Delta T$ é igual e, por isso, $c_N < c_M$.

**42.2** Como $E = mc\Delta T$, observando o gráfico, verifica-se que, para a mesma energia $E$ fornecida, N sofreu uma maior variação de temperatura. Como $c$ é igual, então $\frac{E}{c} = m\Delta T$, ou seja, a uma maior variação de temperatura corresponde uma menor massa, uma vez que o produto $m\Delta T$ é igual, por isso, $m_N < m_M$.

**42.3 a)** A temperatura inicial de M é $T(0) = 18{,}0$ °C.

**b)** Como $E = mc\Delta T$, podemos escrever $E = mc(T - T_0)$ $\Leftrightarrow T = T_0 + \frac{1}{mc}E$. O declive da reta $T(E)$ é:
$\frac{1}{mc} = \frac{1}{0{,}100c} = 2{,}39 \times 10^{-3} \Leftrightarrow c = \frac{1}{2{,}39 \times 10^{-4}} = 4{,}18 \times 10^{3}$ J kg$^{-1}$ K$^{-1}$.

**43.** Tomando os pontos extremos no gráfico (0 s, 22 °C) e (120 s, 52 °C), há uma variação de temperatura de 30 °C em 120 s. A energia fornecida é:
$E = P\Delta t \Leftrightarrow E = 750 \times 120 = 9{,}00 \times 10^4$ J.
Como toda a energia foi usada no aquecimento da água, então: $E = mc\Delta T \Leftrightarrow m = \frac{9{,}00 \times 10^4}{4{,}18 \times 10^3 \times 30} = 0{,}718$ kg = 718 g
Como a densidade é 1,0 g cm$^{-3}$, o volume é 718 cm$^3$.

**44.**
**44.1** (D). Energia cedida pela água: $E_a = m_a\, c_a\, \Delta T = 3\, m_g\, 2c_g\, \Delta T$.
Energia cedida pelo gelo: $E_g = m_g\, c_g\, \Delta T$, pois a variação de temperatura, $\Delta T$, é a mesma nas duas situações. Portanto, $E_g = \frac{1}{6} E_a$.

**44.2 a)** A amostra X é a de gelo: ao fim do mesmo tempo, $t$, ambas as amostras receberam a mesma energia, $E = P\Delta t$, sendo de leitura direta da figura que a variação de temperatura de X é o dobro da de Y. Logo, Y refere-se à água líquida.

**b)** (A). $E_a = m_a\, c_a\, \Delta T_a$ e $E_g = m_g\, c_g\, \Delta T_g$, respetivamente, para a água líquida e para o gelo. Para o mesmo tempo de aquecimento, $E_a = E_g$, e podemos escrever $m_a\, c_a\, \Delta T_a = m_g\, c_g\, \Delta T_g$ e, como $c_a = 2c_g$ e $\Delta T_g = 2\Delta T_a$, então $m_a\, 2c_g\, \Delta T_a = m_g\, c_g\, 2\Delta T_a \Leftrightarrow m_a = m_g$.

**c)** A energia fornecida é $E = Pt$ e a energia recebida é $E = mc\Delta T$. Como são iguais, $Pt = mc\Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{P}{mc} t$.
O declive da reta no gráfico $\Delta T(t)$ é, pois, $\frac{P}{mc}$, ou seja, é a razão entre a potência da fonte e o produto da massa pela capacidade térmica mássica da amostra aquecida.

**45.** A energia total fornecida ao sistema foi $E_{total} = 1200 \times 4{,}18 \times 7{,}20 = 3{,}61 \times 10^4$ J, dos quais apenas 90% foram úteis: $E_{útil} = 0{,}90 \times 3{,}61 \times 10^4 = 3{,}25 \times 10^4$ J.
Como $E = mc\Delta T$, resulta $c = \frac{E}{m\Delta T} \Leftrightarrow c = \frac{3{,}25 \times 10^4}{0{,}250 \times 65{,}0} =$
$= 2{,}0 \times 10^3$ J kg$^{-1}$ K$^{-1}$.

**46.** O aumento da energia interna da água é:
$E_{água} = m_{água}\, c_{água}\, \Delta T_{água} = 0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3 \times 11{,}2 = 4{,}68 \times 10^3$ J.
O aumento da energia interna da areia é:
$E_{areia} = m_{areia}\, c_{areia}\, \Delta T_{areia} = 0{,}100 \times 8{,}36 \times 10^2 \times 42{,}0 = 3{,}51 \times 10^3$ J.
A água teve maior aumento de energia interna. Como a energia fornecida à água e à areia foi a mesma ($E_{total} = P\Delta T$), pois a fonte de aquecimento e o tempo de aquecimento foram os mesmos, então houve mais energia dissipada no aquecimento da areia.
OU:
Foi fornecida a cada sistema a energia total:
$E_{total} = P \times \Delta T = 100 \times 16{,}0 \times 60 = 9{,}60 \times 10^4$ J.
Energia dissipada no aquecimento da água:
$E_{diss,\,a} = E_{total} - E_{água} = 9{,}60 \times 10^4 - 4{,}68 \times 10^3 = 9{,}13 \times 10^4$ J.
Energia dissipada no aquecimento da areia:
$E_{diss,\,areia} = E_{total} - E_{areia} = 9{,}60 \times 10^4 - 3{,}51 \times 10^3 = 9{,}25 \times 10^4$ J.
Houve mais energia dissipada no processo de aquecimento da areia.

**47.** A energia total incidente foi:
$E_{total} = E_r\, A\, \Delta t = 575 \times 2{,}92 \times 10^2 \times 10^{-4} \times 3600 \times 2{,}0 =$
$= 1{,}21 \times 10^5$ J.
A massa de chá é 0,350 kg. A energia absorvida pelo chá foi:
$E_{útil} = mc\Delta t = 0{,}350 \times 4{,}18 \times 10^3 \times 18{,}2 = 2{,}66 \times 10^4$ J.
O rendimento no processo foi:
$\eta(\%) = \frac{E_{útil}}{E_{total}} \times 100 = \frac{2{,}66 \times 10^4}{1{,}21 \times 10^5} \times 100 = 22\%$. Esta é a percentagem de energia incidente que serviu para o aquecimento do líquido.

## 1.3.9 Aquecimento e mudanças de estado: variação das entalpias mássicas de fusão e de vaporização PÁG. 59

**48.** $\Delta h_f = 80{,}0$ cal g$^{-1}$ $= \frac{80{,}0 \text{ cal}}{1 \text{ g}} = \frac{80{,}0 \times 4{,}18 \text{ J}}{1 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 3{,}34 \times 10^5$ J kg$^{-1}$.
Para fundir 1 kg de gelo são necessários $3{,}34 \times 10^5$ J.

**49.** (D). Quando a água entra em ebulição, parte dela abandona o sistema (água na panela), indo para a atmosfera. Logo, a massa do sistema diminui. Por outro lado, enquanto existir água no estado líquido na panela, esta mantém a temperatura (de 100 °C, a pressão atmosférica normal). Mantendo-se a temperatura e diminuindo a massa, a energia interna também diminui.

**50.** (D). Enquanto existir água no estado sólido, a energia recebida é usada na rutura das ligações intermoleculares no gelo. Só depois da rutura de todas essas ligações (processo durante o qual a temperatura se mantém constante) é que a água líquida começa a aumentar a temperatura.

**51.** (A). Para a fusão do gelo, $m = \frac{E}{\Delta h_{fusão}} = \frac{334 \times 10^3}{3{,}34 \times 10^5} = 1{,}00$ kg; para o aquecimento da água, $\Delta T = \frac{E}{mc} = \frac{334 \times 10^3}{1{,}00 \times 4{,}18 \times 10^3} = 80{,}0$ °C, pelo que a temperatura final será 100 °C; para a vaporização da água, $m = \frac{E}{\Delta h_{vaporização}} = \frac{334 \times 10^3}{2{,}25 \times 10^6} = 0{,}148$ kg.

**52.** Só no processo de vaporização de 20 mL = 20 g de água desperdiçou-se a energia:
$E_{total} = \Delta m \times \Delta h_{vaporização} = 0{,}020 \times 2{,}25 \times 10^6 = 4{,}5 \times 10^4$ J.

**53.** A ventoinha provoca o movimento do ar, fazendo sair ar mais quente de um local, o qual passa a ser ocupado por ar mais frio. Por outro lado, o ar que cobre a nossa pele está, normalmente, a maior temperatura devido à nossa perda de energia através dela. O movimento do ar vai renovar o ar junto à pele, o que acelera o processo de vaporização da água na superfície do corpo (a transpiração, por exemplo); a vaporização causa uma sensação de frescura, uma vez que é necessária energia para a água passar do estado líquido para o estado gasoso, sendo essa energia fornecida pela pele. Este efeito aumentará se a pele estiver húmida: mais água passará para o estado gasoso, mais energia será transferida a partir da pele e maior será o arrefecimento desta.

**54.**
**54.1** $t_{fusão} = 10$ °C e $t_{vaporização} = 70$ °C. Durante as mudanças de estado não há alteração da temperatura.

**54.2** Usando $c = \frac{E}{m\Delta T}$, obtém-se:

$c_{\text{sólido}} = \frac{15 \times 10^3}{1{,}5 \times [10 - (-20)]} = 3{,}3 \times 10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ e

$c_{\text{líquido}} = \frac{(50 - 35) \times 10^3}{1{,}5 \times (70 - 10)} = 1{,}7 \times 10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$.

**54.3** A partir $E = m\Delta h_{\text{fusão}}$, obtemos:

$\Delta h_{\text{fusão}} = \frac{E_{fusão}}{m} = \frac{(35 - 15) \times 10^3}{1{,}5} = 1{,}3 \times 10^4 \text{ J kg}^{-1}$.

**55.** É necessário fornecer energia para aquecer o gelo até 0 °C, $E_1 = mc_{\text{gelo}}\,\Delta T$, para o fundir a essa temperatura, $E_2 = m\Delta h_{\text{fusão}}$, para aquecer a resultante água líquida de 0 °C até 100 °C, $E_3 = mc_{\text{(água líquida)}} \times 100$, e, finalmente, para vaporizar totalmente essa água a 100 °C, $E_4 = m\Delta h_{\text{vaporização}}$.
Portanto:
$E = m(c_{\text{gelo}}\,\Delta T + \Delta h_{\text{fusão}} + c_{\text{água líquida}} \times 100 + \Delta h_{\text{vaporização}})$ e, substituindo valores:
$E = 0{,}100 \times (2{,}10 \times 10^3 \times 4 + 3{,}34 \times 10^5 + 4{,}18 \times 10^3 \times 100 + 2{,}25 \times 10^6) = 3{,}01 \times 10^5$ J.

**56.** Começamos por calcular a energia necessária para elevar a temperatura do gelo até ao ponto de fusão:
$E_{\text{gelo}} = 0{,}500 \times 2{,}10 \times 10^3 \times 3{,}0 = 3{,}15 \times 10^3$ J.
A energia necessária para fundir o gelo a 0 °C é:
$E_{\text{fusão}} = 0{,}500 \times 3{,}34 \times 10^5 = 1{,}67 \times 10^5$ J.
A diferença para a energia fornecida é a energia usada no aquecimento da água a 0 °C. Esta energia é:
$E_{\text{ág.líq.}} = 2{,}0 \times 10^5 - 3{,}15 \times 10^3 - 1{,}67 \times 10^5 = 2{,}99 \times 10^4$ J.
A temperatura final obtém-se agora a partir de
$\Delta T = \frac{E_{\text{ág.líq.}}}{mc_{\text{ág.líq.}}} = \frac{2{,}99 \times 10^4}{0{,}500 \times 4{,}18 \times 10^3} = 14$ °C. A temperatura final é 14 °C.

**57.**
**57.1** Da água para a vizinhança.

**57.2** A massa de água é 0,500 kg. A variação de entalpia na solidificação é simétrica da de fusão. A variação de energia interna é igual à energia cedida pela água e que é a soma de três parcelas: $E_1$, referente ao arrefecimento da água desde 14 °C até 0 °C; $E_2$, referente à solidificação da água; $E_3$, referente ao arrefecimento do gelo desde 0 °C até −4 °C.
Ou seja:
$E = E_1 + E_2 + E_3 = mc_{\text{água líquida}}\,(0 - 14) + m(-\Delta h_{\text{fusão}}) + mc_{\text{gelo}}\,(-4 - 0)$
$\Leftrightarrow E = 0{,}500 \times (-14 \times 4{,}18 \times 10^3 - 3{,}34 \times 10^5 - 4 \times 2{,}10 \times 10^3) =$
$= -2{,}00 \times 10^5$ J. Logo, $\Delta U = -2{,}0 \times 10^5$ J, ou seja, o sistema diminuiu a sua energia interna.

**58.** A energia mecânica com que chega ao solo é igual à energia mecânica inicial do bloco (houve conservação da energia mecânica): $E = mgh = 2{,}0 \times 10 \times 15{,}0 = 300$ J.
A energia útil para o processo de fusão é:
$E_{\text{útil}} = 0{,}90E = 270$ J.
A massa de gelo que funde desta forma é:
$m = \frac{E_{útil}}{\Delta h_{fusão}} = \frac{270}{3{,}34 \times 10^5} = 8{,}08 \times 10^{-4}$ kg $= 0{,}81$ g.

**59.** A energia absorvida pelo sistema é a soma de três parcelas: $E_1 = mc_{\text{gelo}}\,[0 - (-8)]$, referente ao aquecimento do gelo desde −8 °C até 0 °C; $E_2 = m\Delta h_{\text{fusão}}$, referente à fusão do gelo a 0 °C; $E_3 = mc_{\text{água líquida}}\,(40 - 0)$, referente ao aquecimento da água líquida desde 0 °C até 40 °C. Ou seja, $E = E_1 + E_2 + E_3$ e, sendo $m = 0{,}200$ kg a massa do sistema, obtém-se:
$E = 0{,}200 \times (8 \times 2{,}10 \times 10^3 + 3{,}34 \times 10^5 + 40 \times 4{,}18 \times 10^3) =$
$= 1{,}04 \times 10^5$ J
A potência da fonte de aquecimento é $P = \frac{3000 \times 4{,}18}{60} = 209$ W.
Como $P\Delta t = E$, obtém-se, para o tempo,
$\Delta t = \frac{1{,}04 \times 10^5}{209} = 498$ s $= 8{,}3$ min.

**60.**
**60.1** A temperatura inicial da amostra é a do gelo fundente, ou seja, 0 °C, e essa temperatura mantém-se inalterada durante o processo de fusão, pois a energia é utilizada para a rutura de ligações intermoleculares. Só ao fim de 40 minutos é que todo o gelo passou a água líquida.

**60.2** Nos primeiros 40 minutos, a amostra recebeu a energia $E_1 = P\Delta t = 15 \times 10^3 \times 40 = 6{,}0 \times 10^5$ J. Como $E_1 = m\Delta h_{\text{fusão}}$, determina-se a massa da amostra: $m = \frac{E_1}{\Delta h_{fusão}} = 1{,}8$ kg.
Nos 20 minutos seguintes de aquecimento da água líquida, a amostra recebeu a energia $E_2 = 15 \times 10^3 \times 20 = 3{,}0 \times 10^5$ J.
Como $E_2 = mc_{\text{água líquida}}\,(X - 0)$, em que $X$ é a temperatura final, $X = \frac{3{,}0 \times 10^5}{1{,}8 \times 4{,}18 \times 10^3} = 40$ °C.

**61.**
**61.1** A massa de água é 0,100 kg.
Energia para o aquecimento da água até 100 °C:
$E_{\text{útil}} = mc\Delta T = 0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3 \times 75 = 3{,}14 \times 10^4$ J
Como a diferença de potencial nas tomadas de nossas casas é $U = 230$ V, a energia total fornecida é:
$E_{\text{total}} = P\Delta t = UI\Delta t = 230 \times 5{,}0 \times 30 = 3{,}45 \times 10^4$ J
Rendimento: $\eta(\%) = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}} \times 100 = \frac{3{,}14 \times 10^4}{3{,}45 \times 10^4} \times 100 = 91\%$

**61.2** A vaporização dá-se durante 60 s. Neste tempo, a energia útil fornecida ao sistema é:
$E_{\text{útil}} = 0{,}91E_{\text{total}} = 0{,}91P\Delta t = 0{,}91UI\Delta t = 0{,}91 \times 230 \times 5{,}00 \times 60 =$
$= 6{,}28 \times 10^4$ J,
que permite vaporizar a seguinte massa de água:
$m = \frac{E_{\text{útil}}}{\Delta h_{\text{vaporização}}} = \frac{6{,}28 \times 10^4}{2{,}25 \times 10^6} = 2{,}79 \times 10^{-2}$ kg $= 28$ g.
A massa de água que permanece por vaporizar é $100 - 28 = 72$ g.

## 1.3.10 e 1.3.11 Primeira Lei da Termodinâmica: transferências de energia e conservação de energia. Segunda Lei da Termodinâmica: degradação da energia e rendimento PÁG. 61

**62.** Aplicando a expressão $\Delta U = W + Q$ a cada uma das máquinas, obtém-se:
para A, em quilojoules:
$\Delta U_A = W_A + Q_A = -0{,}300 + 4{,}50 = 4{,}20$ kJ;
para B:
$\Delta U_B = W_B + Q_B = 600 + 140 \times 4{,}18 = 1185{,}2$ J $= 1{,}19 \times 10^3$ J $= 1{,}19$ kJ.
Foi a máquina A que teve a maior variação de energia interna.

**63.** O calor e o trabalho no processo são $Q = 1{,}0 \times 10^4$ J e $W = -5{,}0 \times 10^3$ J. Como $\Delta U = W + Q$, vem $\Delta U = 5{,}0 \times 10^3$ J.
A energia interna aumentou, pois a sua variação foi positiva.

**64.** Não havendo trocas de energia com o exterior, o sistema formado pelas duas amostras de água pode ser considerado um sistema isolado, e a energia que um cede é a que o outro recebe: $\Delta U = E + E' = 0$. Designando por $m$ a massa de água fria e por $m'$ a massa de água quente, pode então escrever-se $mc(35 - 20) + m'c(35 - 60) = 0$, ou seja, $m' = \frac{15}{25} m$. Esta razão das massas é também a razão dos volumes, pois $\rho = \frac{m}{V}$, pelo que o volume de água mais quente é $V' = \frac{15}{25} \times 100 = 60$ L.

**65.**

**65.1** O sistema constituído pelo gelo e pela água é isolado termicamente, o que significa que não há transferência de energia por calor com a vizinhança. Como também não há realização de trabalho, $\Delta U = 0$.

**65.2** $\Delta U = 0 \Leftrightarrow \Delta U_{\text{água}} + \Delta U_{\text{gelo}} = 0 \Rightarrow \Delta U_{\text{água}} = -\Delta U_{\text{gelo}}$. Notar que estamos a designar por "gelo" o subsistema inicialmente constituído pela amostra de gelo, mas que depois se transformou em água líquida.

**65.3** A energia cedida pela água quente, $E_1$, é usada na fusão do gelo, $E_2$, e no aquecimento dessa água, $E_3$. A conservação da energia permite escrever: $\Delta U = 0 \Leftrightarrow E_1 + E_2 + E_3 = 0$ $\Leftrightarrow mc(T_{\text{final}} - 80) + m'\Delta h_{\text{fusão}} + m'c(T_{\text{final}} - 0) = 0$, com $m$ e $m'$ as massas de água quente e gelo, e $T_{\text{final}} = 40$ °C (temperatura final de equilíbrio). A equação anterior pode ainda escrever-se na forma:
$0{,}020 \times (3{,}34 \times 10^5 + 4{,}18 \times 10^3 \times 40) = m \times 4{,}18 \times 10^3 \times 40$
de onde se obtém $m = 0{,}060$ kg = 60 g.

**66.**

**66.1** Sendo $E = P\Delta t$, a energia é diretamente proporcional ao tempo de aquecimento, uma vez que a potência é constante. Para a mesma elevação de temperatura (40 °C), B precisaria do dobro do tempo de aquecimento, ou seja, do dobro da energia. Como $E_{\text{útil}} = mc\Delta T$ e a massa é a mesma, $E_A = mc_A\,\Delta T$ e $E_B = mc_B\,\Delta T = 2mc_A\,\Delta T$. Logo, B terá o dobro da capacidade térmica mássica de A: $c_B = 2c_A$.

**66.2** (B). A energia cedida por um líquido é recebida pelo outro (Lei de Conservação da Energia), o que permite escrever: $\Delta U = 0 \Leftrightarrow E_1 + E_2 = 0 \Leftrightarrow mc_B\,\Delta T_B + mc_A\,\Delta T_A = 0$. Como $2c_A = c_B$, daqui resulta $2\Delta T_B + \Delta T_A = 0 \Rightarrow \Delta T_A = -2\Delta T_B$.

**66.3** $T_f - 60 = -2(T_f - 40) \Leftrightarrow T_f = 47$ °C.

**67.**

**67.1** 0 °C, pois o sistema no estado final é gelo fundente.

**67.2 a)** A massa de água é $m = \rho_{\text{água líquida}} V = 0{,}100$ kg. Como não há transferência de energia de e para o exterior, toda a energia cedida pela água líquida é transferida para o gelo que funde, cuja massa é $m' = 0{,}04$ kg. Podemos, então, escrever:
$\Delta U = 0 \Leftrightarrow E_1 + E_2 = 0 \Leftrightarrow mc_{\text{água líquida}}(0 - T_{\text{inicial}}) + m'\,\Delta h_{\text{fusão}} = 0$
$\Leftrightarrow 0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3\, T_{\text{inicial}} = 0{,}040 \times 3{,}34 \times 10^5 \Rightarrow T_{\text{inicial}} = 32$ °C.

**b)** Se uma fonte externa cede energia ao sistema, este aumenta a sua energia interna e:
$\Delta U = 3{,}36 \times 10^3 \Leftrightarrow mc_{\text{água líquida}}(0 - T'_{\text{inicial}}) + m'\,\Delta h_{\text{fusão}} = 3{,}36 \times 10^3$
$\Leftrightarrow 0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3\, T'_{\text{inicial}} = 0{,}040 \times 3{,}34 \times 10^5 - 3{,}36 \times 10^3$
$\Rightarrow T_{\text{inicial}} = 24$ °C.

**68.** A massa de 1,00 L de água líquida é igual a 1,00 kg e a massa de 500 mL é 0,500 kg. Designando por $T_{\text{final}}$ a temperatura final, tem-se, pela conservação da energia, $\Delta U = 0$.
**Caso I:** $0{,}500 \times c_{\text{ág. líq.}}(T_{\text{final}} - 10) + 1{,}00 \times c_{\text{ág. líq.}}(T_{\text{final}} - 70) = 0$
$\Leftrightarrow (T_{\text{final}} - 10) = 2 \times (70 - T_{\text{final}}) \Leftrightarrow T_{\text{final}} = \frac{150}{3} = 50$ °C.
**Caso II:** tem de se ter em conta a fusão do gelo:
$0{,}050\,\Delta h_{\text{fusão}} + 0{,}050\,c_{\text{ág. líq.}}(T_{\text{final}} - 0) + 1{,}0 \times c_{\text{ág. líq.}}(T_{\text{final}} - 70) = 0$
$\Leftrightarrow 1{,}050\,c_{\text{ág. líq.}}\,T_{\text{final}} = 70\,c_{\text{ág. líq.}} - 0{,}050\,\Delta h_{\text{fusão}}$
$\Leftrightarrow T_{\text{final}} = \frac{70 \times 4{,}18 \times 10^3 - 0{,}050 \times 3{,}34 \times 10^5}{1{,}050 \times 4{,}18 \times 10^3} = 63$ °C.
O processo I é mais eficaz, pois a temperatura final é mais baixa.

**69.** O valor de $X$ corresponde à energia necessária para elevar a temperatura de toda a massa de gelo, desde o seu valor inicial até 0 °C: $X = E = m_g\,c_g\,[0 - (-5{,}7)] = 0{,}100 \times 2{,}10 \times 10^3 \times 5{,}7 =$
$= 1197 = 1{,}20 \times 10^3$ J.
A fusão de um quarto da massa de gelo, $m'_g = 0{,}025$ kg, requer a energia:
$Y - X = E = m'_g\,\Delta h_{\text{fusão}} = 0{,}025 \times 3{,}34 \times 10^5 \Rightarrow Y = 8{,}35 \times 10^3 +$
$+ 1{,}20 \times 10^3 = 9{,}55 \times 10^3$ J.
Esta foi a energia total cedida pela água líquida, de massa $m$, cuja temperatura final é 0 °C, ou seja, a água perdeu $9{,}55 \times 10^3$ J. Então:
$E = mc_{\text{ág. líq.}}(0 - 22{,}8) = -9{,}55 \times 10^3 \Rightarrow m = \frac{9{,}55 \times 10^3}{22{,}8 \times 4{,}18 \times 10^3} = 0{,}100$ kg.
Podemos agora encontrar $Z$, a partir da energia fornecida pela água líquida, para elevar a temperatura do gelo na fase inicial:
$mc_{\text{ág. lí.}}(Z - 22{,}8) = -1{,}20 \times 10^3 \Rightarrow Z = 22{,}8 - \frac{1{,}20 \times 10^3}{0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3} =$
$= 22{,}8 - 2{,}9 = 19{,}9$ °C.

**70.**

**70.1** Como as duas massas de água são iguais e o líquido é o mesmo, a temperatura final de equilíbrio seria a média das temperaturas iniciais dos dois subsistemas, cada um com massa $m$. De facto:
$mc(T_f - 84) + mc(T_f - 14) = 0 \Rightarrow T_f = \frac{84 + 14}{2} = 49$ °C.

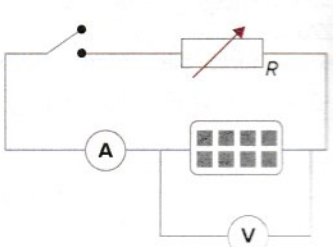
**70.2** A chaleira está quente e fornece também energia à água fria adicionada; o sistema *água fria + água quente* recebe energia, não é isolado, por isso a sua energia interna aumenta.

**70.3** (C). De acordo com a segunda Lei, os dois corpos devem tender para o equilíbrio térmico, ou seja, o quente arrefece, diminuindo a sua temperatura, e o frio aquece, aumentando a sua temperatura.

## Atividades laboratoriais PÁG. 63

**71.**

**71.1**



**71.2** Usando o reóstato, faz-se variar a diferença de potencial no painel, introduzindo no circuito uma maior ou menor resistência. Desta forma, faz-se também variar a corrente no circuito. A partir das medições diretas de $U$ e de $I$, obtém-se a potência e o gráfico $P(U)$ pode ser construído.

**71.3** A irradiância no painel tem de ser sempre a mesma ao longo da experiência, para que os dados sejam recolhidos nas mesmas condições experimentais. Maximiza-se a irradiância quando a luz incide perpendicularmente ao painel (a lâmpada tem de estar suficientemente afastada do painel para que este não aqueça, devido à elevada temperatura da lâmpada). Estas duas variáveis – distância do foco de luz ao painel e orientação do painel – têm de ser controladas durante a experiência, isto é, têm de permanecer inalteradas para se poderem fazer comparações.

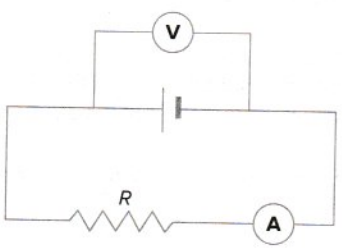
**71.4 a)** O máximo da potência corresponde, aproximadamente, a $U = 1{,}65$ V, sendo a máxima potência, aproximadamente, igual a $P = 0{,}0500$ W. A resistência pode ser obtida a partir de $P = UI = \frac{U^2}{R} \Leftrightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{1{,}65^2}{0{,}0500} = 54{,}5\ \Omega$.

**b)** $X = 2{,}18$ V, pois é indicado no enunciado que esta é a diferença de potencial no painel em circuito aberto (corrente nula). Por outro lado, como $P = UI$, para o valor de potência máxima, $P_{máx} = 1{,}65\ I \Leftrightarrow 0{,}0500 = 1{,}65\ I \Leftrightarrow Y = I = 0{,}0303\ A = 30{,}3$ mA.

**c)** Como o rendimento é 10%, $P_{máx} = 0{,}10\,P_{total} \Leftrightarrow P_{total} = 0{,}500$ W. A irradiância é $E_r = \frac{P_{total}}{A} = \frac{P_{máx}}{A} = \frac{0{,}500}{0{,}100 \times 0{,}050} = 100\ \text{W m}^{-2}$.

**71.5** A – II (quanto mais próximo da perpendicular ao painel incidir a radiação, maior será a irradiância e maior será a potência);
B – III (a irradiância diminui relativamente à situação de incidência perpendicular e, portanto, a potência também diminui);
C – I (mantendo o ângulo, mas interpondo um filtro, a irradiância diminui ainda mais relativamente à situação anterior, pelo que a potência também é menor).

**72.**
**72.1**




**72.2** Para impedir trocas de energia por calor com o exterior. Deste modo, toda a energia dissipada na resistência pode ser considerada como energia totalmente transferida para o bloco.

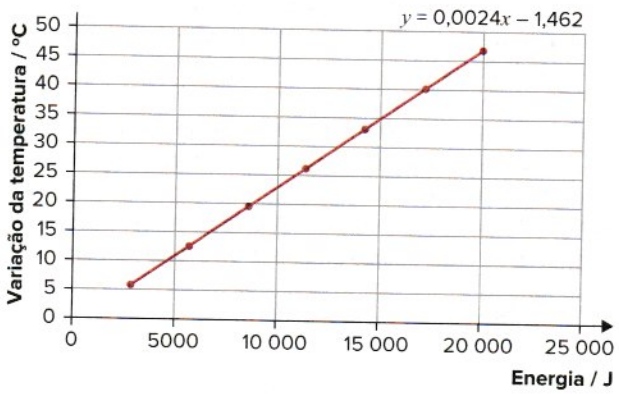
**72.3 a)** Para elevar de 1 K (ou de 1 °C) a temperatura de uma amostra de latão, é necessário fornecer ao sistema 377 J de energia por cada quilograma de material.

**b)** Como $m = (999 \pm 1) \times 10^{-3}$ kg, então $m \in [0{,}998; 1{,}000]$ kg.

**c)** Nas duas novas colunas, indica-se a variação de temperatura, $\Delta T = T - T_{inicial}$ e a energia até ao instante da medição $E = P\Delta t = UI\Delta t$.

| Tempo / s | Temperatura / °C | $U$ / V | $I$ / A | $\Delta T$ / K | $E$ / J |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 27,1 | 10,74 | 4,42 | 5,9 | $2{,}85 \times 10^3$ |
| 120 | 33,2 | 10,73 | 4,41 | 12,0 | $5{,}68 \times 10^3$ |
| 180 | 40,3 | 10,74 | 4,42 | 19,1 | $8{,}54 \times 10^3$ |
| 240 | 47,1 | 10,75 | 4,41 | 25,9 | $11{,}38 \times 10^3$ |
| 300 | 54,2 | 10,74 | 4,41 | 33,0 | $14{,}21 \times 10^3$ |
| 360 | 61,1 | 10,74 | 4,42 | 39,9 | $17{,}09 \times 10^3$ |
| 420 | 68,3 | 10,74 | 4,42 | 47,1 | $19{,}94 \times 10^3$ |

**d)** Supondo que a energia fornecida foi integralmente usada no aquecimento do bloco, escrevemos $E = mc\Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{1}{mc} E$. A representação gráfica desta função é uma reta cujo declive é $\frac{1}{mc}$. Conhecendo a massa da amostra, a determinação experimental deste declive permite obter a capacidade térmica mássica.
O gráfico da variação da temperatura em função da energia, obtido com os dados da tabela, é:




A equação de ajuste indicada no gráfico permite escrever $\frac{1}{mc} = 2{,}4 \times 10^{-3}\ \text{°C J}^{-1}$. Tendo em conta a massa do bloco, vem $c = \frac{1}{2{,}4 \times 10^{-3} \times 999 \times 10^{-3}} = 417\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$.
A exatidão do resultado pode ser avaliada pelo erro relativo percentual:
$\frac{\text{valor obtido} - \text{valor tabelado}}{\text{valor tabelado}} \times 100\ (\%) = \frac{417 - 377}{377} \times 100\ (\%) = 10{,}6\%$
(como é positivo, isso indica que o valor foi obtido por excesso). Este erro relativo percentual é elevado (maior que 5%). Uma justificação pode ser o isolamento térmico deficiente, o que invalida a condição de se ter tomado o sistema como isolado: partimos do princípio de que o sistema recebeu mais energia do que na realidade aconteceu. Por outro lado, o latão é uma liga e a sua composição é variável, por isso, não há certeza de que o valor tabelado corresponda à capacidade térmica mássica da liga utilizada no bloco da experiência.

**72.4** Podemos escolher os pontos (0,0; 22,8) e (3000; 30,0), de fácil leitura no gráfico, para encontrar o declive da reta: $\frac{30,0-22,8}{3000-0} = 2,40 \times 10^{-3}\ ^\circ C\ J^{-1}$. Podemos, então, escrever: $2,4 \times 10^{-3} = \frac{1}{m_{Cu}\, c_{Cu}} \Rightarrow c_{Cu} = \frac{1}{1,109 \times 2,40 \times 10^{-3}} = 376\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$.
Ora, $\frac{376-x}{x} \times 100\ (\%) = -2,34\%$, em que $x$ é o valor tabelado e o sinal negativo indica que o valor foi encontrado por defeito.
Obtém-se $\frac{376-x}{x} = \frac{-2,34}{100} \Rightarrow x = 385\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$.
OU: o valor 376 corresponde a 100% – 2,34% = 97,66%. Então, $\frac{376}{97,66} = \frac{x}{100} \Leftrightarrow x = 385\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$.

**73.**
**73.1** É necessária a energia de $3,34 \times 10^5$ J para fundir um quilograma de gelo fundente (gelo a 0 °C).

**73.2** $m_{\text{água quente}} = (150,14 \pm 0,01) \times 10^{-3}$ kg.

**73.3** Mistura-se água e cubos de gelo numa garrafa-termo e aguarda-se até que a mistura fique aproximadamente a 0 °C. Ou: fragmenta-se o gelo, por exemplo, com um martelo.

**73.4** A baixa condutividade térmica.

**73.5** Medição direta: massa do gelo (ou da água quente ou das temperaturas); medição indireta: variação da entalpia mássica de fusão da água.

**73.6** A temperatura $Z$ é a temperatura final de equilíbrio térmico que é mostrada no segundo termómetro da figura: $Z = 10,9\ ^\circ C$.
A diferença $Y - X$ é a energia necessária para elevar a temperatura da água líquida originada pelo gelo fundido de 0 °C até 10,9 °C:
$E = Y - X = 50,17 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (10,9 - 0) = 2,29 \times 10^3$ J.

**73.7 a)** Primeira Lei da Termodinâmica.

**b)** Como o sistema é isolado, $\Delta U = 0$: a água quente cede energia e o gelo (e a água líquida resultante depois da fusão) recebe-a integralmente.

**c)** Designando por $U_{ág}$ a energia interna da água quente e por $U_g$ a energia interna do gelo inicial e da água líquida que esse gelo origina, e como a energia do sistema, $U$, é a soma das energias internas dos dois subsistemas, $U = U_{ág} + U_g$, então, como $\Delta U = 0$, vem $\Delta(U_{ág} + U_g) = 0 \Rightarrow \Delta U_{ág} = -\Delta U_g$.
As variações são simétricas.

**d)** Gelo: a energia recebida na fusão é:
$E_1 = m\Delta h_{\text{fusão}} = 50,17 \times 10^{-3}\ \Delta h_{\text{fusão}}$.
A energia recebida no aquecimento até à temperatura final de equilíbrio é:
$E_2 = mc\Delta T = 50,17 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3\ (10,9 - 0) = 2,285 \times 10^3$ J.
Água: a energia cedida é:
$E_3 = mc\Delta T = 150,14 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3\ (10,9 - 38,9) = -1,757 \times 10^4$ J.
Como o sistema é isolado:
$\Delta U = 0 \Leftrightarrow U = E_1 + E_2 + E_3 = 0$
$\Leftrightarrow 50,17 \times 10^{-3}\ \Delta h_{\text{fusão}} + 2,285 \times 10^3 - 1,757 \times 10^4 = 0$
$\Leftrightarrow \Delta h_{\text{fusão}} = 3,05 \times 10^5\ J\ ^\circ C^{-1}$.
O erro relativo percentual é $\frac{(3,05 - 3,34) \times 10^5}{3,34 \times 10^5} = -8,7\%$, ou seja, o valor foi obtido por defeito.

**e)** Há sempre energia transferida de ou para o recipiente onde se faz a mistura e o isolamento térmico do recipiente pode ser deficiente, ou seja, determina-se experimentalmente um valor admitindo que o sistema é isolado quando, de facto, não é.

## Questões globais PÁG. 66

### Grupo I

**1.** (D). A expressão da primeira lei, $\Delta U = W + Q$, permite identificar o sistema não isolado como aquele para o qual se pode ter $\Delta U \neq 0$. Se $Q = 0$ e se $W > 0$, então $\Delta U > 0$.

**2.** Os termogramas baseiam-se na emissão de radiação infravermelha pelos corpos. A característica dessa radiação depende da temperatura do corpo que a emite. Pequenas variações de temperatura originam pequenas alterações na radiação emitida. Por isso, é possível obter com bastante precisão imagens de pessoas (ou de objetos mais quentes do que a temperatura ambiente) num ambiente escuro. A técnica é usada, por vezes, para encontrar pessoas, por estarem a temperatura superior à ambiente, emitem uma radiação diferente da dos corpos à temperatura ambiente.

**3.**
**3.1** (C). Quanto mais próximo da perpendicular ao painel incidir a radiação, mais energia será captada por este. Alguns painéis estão até equipados com um motor que permite a sua rotação, colocando-os na perpendicular à direção de incidência, uma vez que varia a inclinação da luz solar ao longo do dia.

**3.2 a)** I – A; II – B; III – C; IV – D. Esta associação pode ser obtida diretamente a partir das máximas diferenças de potencial (eixo horizontal).

**b)** (A). A diferença de potencial é praticamente (mas não exatamente) a mesma, sendo que as diferentes potências se ficam a dever, principalmente, a diferentes correntes.

**c)** $I = 1,5$ A, que é a ordenada na origem para a curva D no gráfico $I(U)$, pois $U = 0$.

**4.**
**4.1** Reóstato.

**4.2 a)** O amperímetro marcará o valor mínimo, pois a corrente é nula, $I = 0$ A, uma vez que o circuito está aberto. O voltímetro marcará o valor máximo, $U = 21$ V, que é a diferença de potencial máxima para o painel, de acordo com o gráfico.

**b)** Os terminais do painel ficam em curto-circuito porque a resistência é nula, por isso, o voltímetro marcará o valor mínimo, $U = 0$ V, mas a corrente será máxima, ou seja, será a corrente de curto-circuito. (Pode-se calcular o valor aproximado desta corrente: para pequenas diferenças de potencial, como se observa no gráfico, a função $P(U) = IU$ é praticamente uma reta, o que significa que a corrente é praticamente constante e igual ao declive dessa reta; então, $I = \frac{78}{12} = 6{,}5$ A.)

**4.3** A diferença de potencial máxima para o painel é $U = 21$ V e a que maximiza a potência obtém-se também do gráfico, por leitura direta: $U' = 17$ V.
Então, $\frac{17}{21} = 0{,}81$ ou 81%.

**4.4** Para $U_1 = 12$ V, $P_1 = 77{,}5$ W e para $U_2 = 17$ V, $P_2 = 100$ W.
Como $P = UI = \frac{U^2}{R}$, vem $R_1 = \frac{12^2}{77{,}5} = 1{,}86\ \Omega$ e $R_2 = \frac{17^2}{100} = 2{,}89\ \Omega$.
Então, $\Delta R = 1{,}0\ \Omega$.

**5.**

**5.1** A irradiância é $E_r = \frac{E_{total}}{A \times \Delta t} = \frac{0{,}670 \times 10^3 \times 3600}{1 \times 3600} = 670\ \text{W m}^{-2}$.

**5.2** A energia total fornecida deverá ser:
$E_{total} = \frac{E_{útil}}{0{,}13} = \frac{25 \times 10^3 \times 3600}{0{,}13} = 6{,}92 \times 10^8$ J.
Como $E_r = \frac{E_{total}}{A \times \Delta t}$, vem:
$A = \frac{E_{total}}{E_r \times \Delta t} = \frac{6{,}92 \times 10^8}{670 \times 10 \times 3600} = 29\ \text{m}^2$.

## Grupo II

**1.**

**1.1** $T_{fusão} = 328$ °C (durante o processo de fusão a temperatura permanece constante).

**1.2 a)** Energia recebida pela amostra: $E_{útil} = 0{,}80 E_{total}$
$\Leftrightarrow E_{útil} = 0{,}80 P \Delta t \Rightarrow E_{útil} = 0{,}80 \times 250 \times 4{,}18 \times 8{,}0 = 6{,}7 \times 10^3$ J.

**b)** Energia recebida pela amostra durante os 5,0 s de aquecimento na fase sólida:
$E' = mc\Delta T \Rightarrow 0{,}80 \times 250 \times 4{,}18 \times 5{,}0 = 0{,}100\, c (328 - 20)$
$\Leftrightarrow c = 1{,}4 \times 10^2\ \text{J kg}^{-1}\ ^\circ\text{C}^{-1}$.

**c)** Energia recebida pela amostra durante os 3,0 s da fusão:
$E'' = m\Delta h_{fusão} \Rightarrow 0{,}80 \times 250 \times 4{,}18 \times 3{,}0 = 0{,}100\, \Delta h_{fusão}$
$\Leftrightarrow \Delta h_{fusão} = 2{,}5 \times 10^4\ \text{J kg}^{-1}$.

**1.3** (C). O processo de solidificação é inverso do processo de fusão e a temperatura mantém-se ao longo do processo, enquanto o sistema transfere energia para o exterior, diminuindo, assim, a sua energia interna.

**2.** A energia recebida pela água é:
$E_{ág} = 0{,}400 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (11{,}8 - 10{,}4) = 2{,}34 \times 10^3$ J.
Mas, durante o processo, o recipiente recebeu o dobro desta energia: $E_{re} = 4{,}68 \times 10^3$ J. Como há 10% de energia que não é aproveitada, nem para aquecer a água nem o recipiente, a energia útil é apenas 90% da energia fornecida pelas sucessivas quedas da pedra, por isso,
$E_{total} = \frac{2{,}34 \times 10^3 + 4{,}68 \times 10^3}{0{,}90} = 7{,}8 \times 10^3$ J.
Ora, por cada queda da pedra, são transferidos para o sistema $E = mgh = 3{,}0 \times 10 \times 10 = 300$ J.
Portanto, são necessárias $\frac{7{,}8 \times 10^3}{300} = 26$ quedas.

## Grupo III

**1.** Energia necessária para fundir um bloco de gelo de 1 kg a 0 °C:
$E_1 = 1 \times 3{,}34 \times 10^5 = 3{,}34 \times 10^5$ J.
Energia necessária para vaporizar 0,100 kg de água a 100 °C:
$E_2 = 0{,}100 \times 2{,}25 \times 10^6 = 2{,}25 \times 10^5$ J.
As duas energias são, pois, da mesma ordem de grandeza ($10^5$).

**2.** No gelo (tem maior condutividade térmica do que a água líquida).

**3.** Para a água líquida, $E_a = m_a c_a \Delta T_a$.
Para o gelo, $E_g = m_g c_g \Delta T_g$. Como $E_a = 2E_g$, $c_a = 2c_g$ (aproximadamente, como se pode ver na tabela) e $\Delta T_a = \Delta T_g$, podemos escrever a equação para a água na forma $2E_g = m_a 2c_g \Delta T_g$, de onde resulta $E_g = m_a c_g \Delta T_g$. Comparando agora com a equação para o gelo, conclui-se que $m_g = m_a$, logo, a razão entre as massas é igual a 1.

**4.** (D).

**5.**

**5.1** A massa de 1,00 L de água é 1,00 kg.
A diminuição de temperatura libertou para a vizinhança a energia $E = mc\Delta T = 1{,}00 \times 4{,}18 \times 10^3 \times 2 = 8{,}36 \times 10^3$ J. Pelo gráfico, conclui-se que a água perdeu o dobro da energia no processo de solidificação, ou seja, perdeu $2 \times 8{,}36 \times 10^3$ J.
Como o processo de solidificação é inverso do processo de fusão, essa energia permitiu solidificar uma massa de
$m = \frac{2 \times 8{,}36 \times 10^3}{3{,}34 \times 10^5} = 0{,}0500$ kg.
Logo, permanecem por congelar 0,950 kg de água.

**5.2** Variação de energia interna no arrefecimento da água:
$\Delta U_1 = -8{,}36 \times 10^3$ J.
Variação da energia interna na vaporização de 3,72 g de água:
$\Delta U_2 = m\Delta h_{vap.} = 3{,}72 \times 10^{-3} \times 2{,}25 \times 10^6 = 8{,}37 \times 10^3$ J
Portanto, $\Delta U_1 \approx -\Delta U_2$.

**6.** A energia útil para o aquecimento da água é:
$E_{útil} = E_r A\, \Delta t \times 0{,}68 = 300 \times 8{,}0 \times 4{,}0 \times 3600 \times 0{,}68 =$
$= 2{,}35 \times 10^7$ J.
Relativamente ao aquecimento de 100 kg de água, podemos escrever $2{,}35 \times 10^7 = 100 \times 4{,}18 \times 10^3\, \Delta T \Rightarrow \Delta T = 56$ °C.

**7.**

**7.1** A massa de água é 100 g. A energia cedida pelo metal é igual à energia recebida pela água (o sistema é isolado):
$\Delta U = 0 \Rightarrow 0{,}100\, c (T_f - 10) + 0{,}200\, \frac{c}{10} (T_f - 70) = 0$
$\Leftrightarrow (T_f - 10) + 0{,}200 (T_f - 70) = 0 \Rightarrow 1{,}2\, T_f = 24 \Leftrightarrow T_f = 20$ °C.

OU: $\Delta U = 0 \Rightarrow 0{,}100\, c\, \Delta T_{\text{água}} + 0{,}200\, \frac{c}{10}\, \Delta T_{\text{metal}} = 0$
$\Leftrightarrow \Delta T_{\text{metal}} = -5\, \Delta T_{\text{água}}$, ou seja, o metal teve uma variação de temperatura 5 vezes maior do que a água, por isso, apenas o gráfico (B) está correto.
Os gráficos (A), (C) e (D) não estão de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica.

**7.2** O gráfico (D) não está de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, pois ele indica que o corpo a menor temperatura arrefece e o corpo a maior temperatura aquece.

**8.**

**8.1** A energia dissipada na resistência é $E = Pt$ e a energia absorvida pela água é $E = mc_{\text{água}}\, \Delta T$. Portanto, $mc_{\text{água}}\, \Delta T = Pt$ $\Rightarrow \Delta T = \frac{P}{mc_{\text{água}}}\, t$. O declive da reta é $\frac{P}{mc_{\text{água}}}$.

**8.2** Tem-se $mc_{\text{água}}\, \Delta T = Pt$ e $P = RI^2$, logo $mc_{\text{água}}\, \Delta T = RI^2\, t$ ou $\Delta T = \frac{RI^2 t}{mc_{\text{água}}}$.
Para $t = 2{,}00$ min $= 120$ s, vem $\Delta T = \frac{120R}{mc_{\text{água}}}\, I^2$. Identificando o declive da reta na equação dada, $\frac{120R}{mc_{\text{água}}} = 2{,}87$ e, para $m = 1{,}00$ kg, vem $R = \frac{2{,}87}{120} \times 1{,}00 \times 4{,}18 \times 10^3 = 100\ \Omega$.